

Alexi Oikarinen

OMAKOTITALON ILMATIIVIYSMITTAUS JA LÄMPÖKUVAUS

Insinöörityö
Kajaanin ammattikorkeakoulu
Tekniikan ja liikenteen ala
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Kevät 2013



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma
Tekijä Aleksi Oikarinen	
Työn nimi Omakotitalon ilmatiiviysmittaus ja lämpökuvaus	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja Matti Tiainen Toimeksiantaja Jani Soini
Aika Kevät 2013	Sivumäärä ja liitteet 54 + 41
<p>Tämän insinöörityön tarkoituksena oli selvittää, mitä rakennuksen ilmatiiviysmittaus ja lämpökamerakuvaus on. Tarkoituksena oli selvittää muun muassa, miksi, milloin ja miten mittauksia tehdään ja kuka niitä tekee. Työssä perehdyttiin omakotitaloon suoritettaviin toimenpiteisiin ja laadittiin ohjeet omakotitaloon tehtäville mittauksille. Työssä käsitellään myös rakentamisen laadun, esimerkiksi rakennusvaipan tiiviyden, merkitystä rakennuksen energiankulutukseen ja rakenteiden oikeanlaiseen kosteustekniseen toimivuuteen.</p> <p>Ilmatiiviysmittaus ja lämpökamerakuvaus ovat keskeiset välineet rakentamisen laadunvalvonnan tarkkailussa. Rakentamissäädökset tiukentuvat koko ajan ja rakennusten energiankulutukseen kiinnitetään entistä enemmän huomiota. Kyseisten toimenpiteiden avulla saadaan minimoitua rakennusaikana tapahtuvat laaturvirheet ja laadunvalvonta tehostuu näin ollen merkittävästi.</p> <p>Rakennuksen ilmanvuotoluku vaikuttaa oleellisesti rakennuksen lämmitysenergiatarpeeseen. Tiivis rakennusvaippa takaa vedottoman olosuhteen rakennuksen sisälle ja näin ollen asumismukavuuskin paranee huomattavasti. Rakennusvaipassa ilmenevien ei tarkoituksellisten vuotojen minimointi parantaa myös asumisterveyttä ja pidentää rakennuksen käyttöikää.</p> <p>Ilmatiiviysmittauksia ja lämpökamerakuvauksia suorittavilta henkilöiltä ei viranomaisten puolelta vaadita mitään tiettyä koulutusta. Pätevyyden osoittamiseksi kyseistä ammatinkuvaa harjoittavat henkilöt suorittavat kuitenkin asiaankuuluvan sertifiointin, mittauksien pätevyyden varmistamiseksi.</p> <p>Aineistona työssä on käytetty aiheeseen liittyvää kirjallisuutta, rakennustietokortteja sekä ajan tasalla olevia lehtiartikkeleja ja tutkimustuloksia. Asiat on koitettu kirjoittaa helposti ymmärrettävään muotoon ja pyritty poimimaan lähteistä ne oleellimmat tiedot, jotka parhaiten kuvaavat toimenpiteitä käytännössä.</p> <p>Työssä ilmeni, että asuinrakennusten lämmönhukasta erittäin suuri osa, jopa 50 prosenttia, johtuu rakennusvaipan hallitsemattomista vuodoista. Vuodot johtuvat huolimattomasta suunnittelusta, rakentamisesta ja laadunvalvonnasta. Kiinnittämällä huomiota rakennuksen ilmatiivyyteen ja rakenteiden oikeanlaiseen kosteustekniseen toimivuuteen säästetään rahaa ja varmistetaan asumismukavuus ja -terveys. Vanhempaan omakotitaloon tehdyt mittaukset osoittavat hyvin tiukentuneiden säädösten vaikutuksen rakentamisen laatuun.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Energiankulutus, ilmatiiviysmittaus, ilmavuotoluku, lämpöhäviö, lämpökuvaus
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School Engineering	Degree Programme Construction Engineering
Author Aleksi Oikarinen	
Title Air Tightness Measurement and Thermal Imaging of a Detached House	
Optional Professional Studies	Instructor Matti Tiainen
	Commissioned by Jani Soini
Date Spring 2013	Total Number of Pages and Appendices 54 + 41
<p>The purpose of the thesis was to study the functions of air tightness measuring and thermal imaging (= thermography), i.e. when and how the measurements are made and who is allowed to make them. The thesis focuses on the measurements taken from a detached house. Also, the guidelines how the measurements are made are described. In addition, the thesis deals with the importance of the quality of construction, for example, the tightness of the building shell.</p> <p>Air tightness measurement and thermography are essential tools to observe the quality control of construction. Construction statutes are becoming stricter all the time and people pay more attention to the energy consumption of buildings. By using this kind of measurements, quality errors during construction can be minimized and quality control becomes more effective. The air leakage rate of the building affects the heating energy consumption significantly. A tight building shell ensures draft-free conditions inside the building and thus living comfort improves. The minimizing of unintentional leaks appearing in the building shell also facilitates healthy living environment and extends the lifespan of the building.</p> <p>Persons who carry out air tightness measurements and thermal imaging are not required to have any specific education. However, to prove their competence, persons running those measurements pass a relevant certification. All this will ensure the valid measurements.</p> <p>The thesis was completed by using literature, topical articles, research results and building instructions. Generally understandable words and concepts have been used in the text to make it easily readable. This work revealed that a vast majority of the heat loss from buildings, even 50 %, is caused by uncontrollable leaks from the building shell. Those leaks result from careless planning, construction and quality control. By paying attention to the building's air tightness and the ideal humidity functionality of structures, money can be saved and living comfort and health maintained. In this thesis, the measurements were taken from an older detached house. These measurements proved that stricter statutes have an influence on the quality of construction.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Energy consumption, air tightness measurement, air leak number, thermographic photographing
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University

SISÄLLYS

KÄSITTEITÄ

1	JOHDANTO	1
2	RAKENNUSVAIPAN TIIVIYS	3
2.1	Tiiviyden merkitys energiankulutuksen ja lämpöviihtyvyyden kannalta	4
2.2	Ilmavuotojen merkitys rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta	10
2.3	Ilmatiiviyden rakennusmääräykset Suomessa	12
3	ILMATIIVIYSMITTAUS	13
3.1	Ilmavuotoluvun mittaustapa ja mittalaitteisto	13
3.2	Mittalaitteiden valinta kohteen mukaan	20
3.3	Mittausolosuhteet ja valmistelevat toimenpiteet	20
3.3.1	Mittauksen raja	21
3.3.2	Puhaltimen asennus	22
3.3.3	Painekoetta edeltävät valmistelut	24
3.3.4	Vaipan alan ja tilavuuden määrittäminen	25
3.4	Ilmatiivysmittauksen suoritus	25
3.5	Ilmavuotokäyrän laskenta	27
3.6	Raportointi	28
3.6.1	Tiivysmittauspöytäkirja	29
3.6.2	Tiivysmittausraportti	29
3.7	Mittausvirheet, tarkkuus ja laitteiston kalibrointi	30
4	LÄMPÖKUVAUS	32
4.1	Lämpökameran toimintaperiaate	32
4.2	Lämpökuvaajan pätevyys	33
4.3	Lämpökamerat ja mittalaitteet	34
4.3.1	Kameran kalibrointi	35
4.3.2	Virhemahdollisuudet	35
4.4	Mittausolosuhteet	36
4.5	Valmistelevat toimenpiteet	37
4.5.1	Kohteessa	37
4.5.2	Kuvaajan suorittamat valmistelut ja muut mittaukset	38

4.6	Lämpökuvauksen toteutus	39
4.6.1	Aloitus	39
4.6.2	Suoritus	40
4.7	Mittaustulosten tulkinta	42
4.7.1	Lämpökuvien lukeminen	45
4.7.2	Raportoitavat poikkeamat	46
4.7.3	Korjausluokitus	47
4.8	Raportit	48
4.8.1	Mittausraportti	48
4.8.2	Lämpökuvausraportti	49
5	ESIMERKKIKOHTTEEN ILMATIIVYYSMITTAUS JA LÄMPÖKUVAUS	50
6	POHDINTA JA TULOSTEN TARKASTELU	52
7	YHTEENVETO	54
	LÄHTEET	56
	LIITTEET	
	Tiiviysmittausraportti	
	Lämpömittausraportti	

KÄSITTEITÄ

Emissiivisyys, emissiivisyysluku

Emissiivisyys kuvaa pinnan kykyä lähettää lämpösäteilyä. Emissiivisyysluku ilmoittaa, kuinka iso osa kappaleen lähettämästä energiasta on pinnasta lähtevää kappaleen omaa energiaa. Materiaalien emissiivisyysluku lämpökuvauksessa ilmoitetaan desimaalilukuna ja se vaihtelee arvojen 0 ja 1 välissä. Mittausraportissa esitetään käytetty emissiivisyys. [1, s. 9.]

Ilmanvuotoluku, n50 [1/h]

Ilmanvuotoluku n50 kertoo, kuinka monesti vaihtuu rakennuksen ilmatilavuus tunnissa rakennusvaipassa olevien vuotoreittien kautta, kun rakennukseen aiheutetaan 50 Pascalin alipaine tai ylipaine [2, s. 15].

Ilmanvuotoluku, q50 [m³/(h m²)]

Ilmanvuotoluku q50 kuvaa keskimääräistä rakennusvaipan vuotoilmavirtaa tunnissa 50 Pascalin paine-erolla kokonaissisämittojen mukaan laskettua rakennusvaipan pinta-alaa kohden (m³/(h m²)) [2, s. 15].

Ilmatiiviys, ilmanpitävyys

Rakenteen kyky estää haitallinen ilmanvaihtuvuus eri kerrosten läpi rakenteessa [2, s. 15].

Lämpökamera

Lämpökamera ottaa vastaan lämpösäteilyä. Se mittaa kohteen pinnasta lähtevän infrapunasäteilyn eli lämpösäteilyn voimakkuutta. Lämpökamera muuttaa infrapunasäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta muodostetaan digitaalisesti lämpökuva. [1, s. 9.]

Lämpötilaindeksi (TI)

Lämpötilaindeksin avulla arvioidaan rakennusvaipan lämpöteknistä toimivuutta. Lämpötilaindeksin avulla arvioidaan ja vertaillaan vaipan pintalämpötiloja toisiinsa silloin, kun lämpötilojen mittaaminen vakio-olosuhteissa ei ole mahdollista (ulkolämpötila $-5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ja sisälämpötila $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$). Lämpötilaindeksi ilmoitetaan prosentin tarkkuudella. [1, s. 9.]

$$TI = (T_{sp} - T_0) / (T_i - T_0) * 100 \text{ [\%]}$$

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila [°C], joka on mitattu esimerkiksi lämpökameralla

T_i = sisäilman lämpötila [°C]

T_0 = ulkoilman lämpötila [°C]

Painekoe

Koe, joka on kehitetty rakennuksen ilmanpitävyyden määrittämiseksi. Rakennus ali- tai ylipaineistetaan, mikä mahdollistaa rakennusvaipan ilmatiiviyden tutkimisen. [2, s. 14.]

Rakennuksen vaippa

Rakennusvaipalla tarkoitetaan rakennusosia, jotka erottavat puolilämpimän, lämpimän, erityisen lämpimän tai jäähdytettävissä olevan kylmän tilan maaperästä, ulkoilmasta tai lämmittämättömästä tilasta [3, s. 3].

1 JOHDANTO

Nykyään rakentamisen laatua valvotaan tiukemmin verrattuna menneisiin vuosikymmeniin. Rakennuksista tehdään entistä tiiviimpiä, jotta ne olisivat mahdollisimman energiatehokkaita. Ilmatiiviissä rakennuksessa rakenteiden oikeanlainen kosteustekninen toimivuus nousee suureen rooliin, sillä tiiviin rakenteen sopukoista on esimerkiksi kosteuden hankala päästä haihtumaan.

Ilmatiiviysmittaus ja lämpökamerakuvaus ovat oleellinen osa rakentamisen laadunvalvontaa. Niiden avulla tarkastellaan muun muassa rakenteiden lämpötekniistä kuntoa jo rakennusvaiheessa. Mahdollisimman aikaisin havaitut puutteet rakenteissa on helpompaa ja edullisempaa korjata rakennusaikana kuin purkaa jätkikäteän ja rakentaa uudelleen. Näin rakennuksen tilaajakin varmistuu siitä, että lopputulos on sitä, mitä on tilannut.

Ilmatiiviysmittauksen avulla osoitetaan rakennuksen ilmanvuotoluku, joka mahdollistaa paremman energiatehokkuusluokan rakennuksen energiatodistukseen. Lämpökamerakuvaus pääasiallinen tarkoitus on etsiä rakennuksessa mahdollisesti olevia lämpö- ja ilmapuotoja. Ilmatiiviysmittaus siis näyttää kuinka paljon rakennuksen vaippa vuotaa ja lämpökameran avulla vuodot paikannetaan, jotta korjaus osataan kohdistaa oikeaan paikkaan.

Ilmatiiviysmittauksia ja lämpökamerakuvaus tekevillä henkilöillä tulee olla vankka tuntemus rakennusteknisistä seikoista ja rakenteiden toiminnasta. Pätevyyden osoittamiseksi kyseiset henkilöt osoittavat osaamisensa henkilösertifiointin avulla. Viranomaisten puolesta kyseisiä toimenpiteitä tekeviltä henkilöiltä ei vaadita mitään tiettyä koulutusta. Sertifiointin tarkoitus on varmistaa, että ammattia harjoittavat henkilöt osaavat työnsä ja näin ollen suoritettut mittaukset ja niistä saadut tulokset ovat päteviä.

Insinööritoiminnan tavoitteena on osoittaa ilmatiiviysmittauksen ja lämpökamerakuvaus keskeisyys rakentamisessa. Pyritään selvittämään miksi mittauksia tehdään, mitä mittauksista hyödytään, kuka mittauksia suorittaa ja miten ne suoritetaan. Työssä keskitytään pääosin omakotitaloon tehtäviin toimenpiteisiin. Työn tilaaja on yksityinen henkilö, jonka








omakotitalo toimii esimerkikohteena tässä insinöörityössä. Kohde ei ole tiukkojen säästösten aikaan rakennettu, joten on mielenkiintoista nähdä, kuinka se pärjää ilmatiiviydessä tänä päivänä rakennettujen talojen kanssa.

2 RAKENNUSVAIPAN TIIVIYS

Rakennusvaipan ilmanpitävyyttä kuvataan ilmavuotoluvulla. Tiiviys on rakenteiden lämmöneristyksen kanssa vähintäänkin yhtä tärkeä seikka, sillä se vaikuttaa oleellisesti rakennuksen terveyteen, energiankulutukseen ja asumismukavuuteen. Ilmanpitävä rakennusvaippa takaa ilmanvaihtolaitteiston parhaan mahdollisen toiminnan, estää kosteuden pääsyn rakenteisiin ja rajoittaa epäpuhtauksien kulkeutumista sisäilmaan. Ilmavuodot rakennuksen vaipassa aiheutuvat yleisimmin holtittomasta rakentamisesta. Rakentamisvaiheessa työskennellään huolimattomasti jättäen rakenteiden väliin rakoja tai asennettaessa vioitetaan höyrynsulkuja. Ilmavuotoja syntyy myös ajan saatossa, sillä tiivistet ja rakennusosat kuluvat käytössä. [4, s. 16.]

Tutkimukset osoittavat, että pientalolle erinomainen ilmatiiviys, $n_{50} \leq 1,0 \text{ l/h}$, on mahdollista saavuttaa lähes kaikilla rakennustavoilla ja -materiaaleilla. Se kuitenkin edellyttää, että ilmatiiviyteen kiinnitetään huomiota, niin rakennuksen suunnittelu- kuin toteutusvaiheessa. Suunnitteluvaiheessa tulee välttää riskialttiita liitosratkaisuja ja miettiä tarkalleen mitkä läpiviennit ovat välttämättömiä ja minne niitä sijoitetaan. Rakennusvaipan osien väliset liitokset ja itse vaipan osat läpivienteineen suunnitellaan ja toteutetaan niin, että niistä varmasti tulee ilmatiiviitä. Suunnitteluvaiheessa tulee varmistua myös siitä, etteivät läpivientien ja rakennusvaipanosien väliset liitokset ala vuotaa ajan saatossa esimerkiksi rakennusmateriaalien vanhenemisen tai rakenteissa ilmenevien taipumien johdosta. Erityisen tärkeää on huolehtia, että piiloon jäävistä liitoskohdista tulee ilmanpitäviä. Ilmanpitäviksi tehtyjä rakenteita ja liitoskohtia ei tule pilata huolimattomasti tehdyillä sähkö- ja LVI-asennuksilla. [5, s. 7.]

Ilmavuotolukua ei siis voida sitoa pelkästään tietäntyyppisiin rakenneratkaisuihin, vaan työmaan toteutukselle on myös määritettävä selkeät pelisäännöt. Työmaan aikainen valvonta tuleekin suureen rooliin toteutettaessa toimivia, hyvin ilmatiiviitä rakennuksia. Seuraavassa kuvassa esitetään rakennuksen tiiviysmittausluokitus. [5, s. 7.]

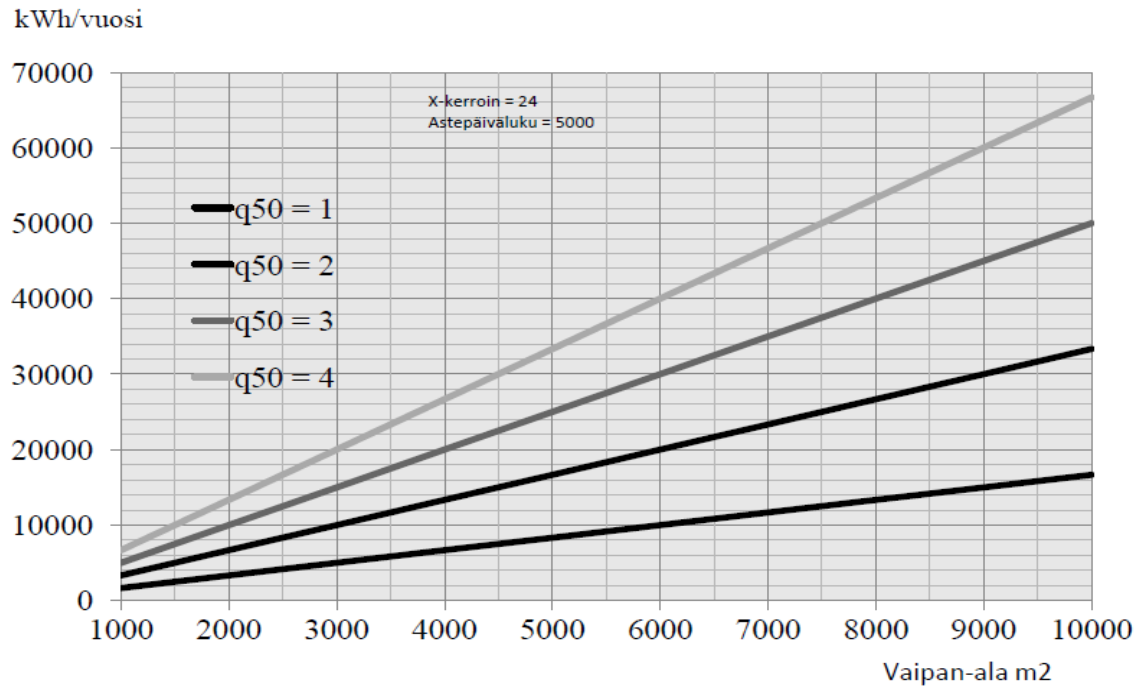
			q50 -luku
Alle 0,6	A		
0,7-1,0	B		
1,1-1,5	C		
1,6-2,0	D		
2,1-3,0	E		
3,1-4,0	F		
Yli 4,1	G		7,6

Kuva 1. Tiiviysmittausluokitus [6, s. 31]

2.1 Tiiviyn merkitys energiankulutuksen ja lämpöviihtyvyyden kannalta

Rakennusvaipan tiiviys vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen ja täten myös asumiskustannuksiin. Vetoisissa tiloissa nostetaan ilman lämpötilaa vedontunteen ehkäisemiseksi, mikä nostaa talon lämmitystarvetta. Lämmöntarve ja ilmanvaihdesta johtuva energiankulutus pienenevät hyvän ilmanpitävyyden myötä. Tiiviin ulkovaipan ansiosta rakennuksen energiatehokkuusluokka paranee energiatodistuksessa ja rakennuksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt vähenevät. Hyvän ilmatiiviyn vuoksi epäpuhtauksien, homeiden ja haitallisten aineiden kulkeutuminen maaperästä, ulkoilmasta ja talon rakenteista sisäilmaan vähenee. Sitä myöten myös vedontunne ja mahdolliset terveysriskit pienenevät. [7, s. 24; 8, s. 19.]

Asuinrakennusten lämmönhukasta lähes 50 % johtuu rakenteissa olevien aukkojen kautta virtaavista hallitsemattomista vuodoista. Kyseiseen lukuun ei sisälly luonnollisen ilmanvaihdon, kuten ikkunoiden ja ilmanvaihtokanavien kautta kulkeva lämmönhukka, sillä asukas voi niihin itse vaikuttaa. Rakennuksen tiivis ulkokuori, josta kosteus pääsee haihtumaan ulos ilmakehään ja joka pitää tuulen ja sateen loitolla, onkin paras keino eliminoida hallitsemattomat ilmapuodot. Ilmatiiviydestä huolehtiminen on merkittävimpiä tapoja rakennuksen energiatehokkuuden parantamisessa. Näistä syistä onkin tärkeää tietää ero ilmanvuotamisen ja oikeanlaisen ilmanvaihdon välillä. Seuraava kuva havainnollistaa, kuinka suuri vaikutus ilmapuodoilla on rakennuksen energiahävikkiin. [7, s. 24; 8, s. 19.]



Kuva 2. Ilmavuodoista aiheutuva energiahävikki. [6, s. 8]

Suomalaisten kivirakenteisten pientalojen keskimääräinen ilmavuotoluku on 2,3 1/h ja puurakenteisten 4 1/h. Seuraavassa taulukossa kuvataan ilmavuotoluvun prosentuaalinen vaikutus pientalon lämmitystarpeeseen. [9, s. 24; 10.]

Taulukko 1. Ilmavuotoluvun prosentuaalinen vaikutus pientalon lämmitystarpeeseen [10]

Ilmavuotoluku	Tiiviys	Energiansäästö
< 0,6	passiivi	> 25 %
< 1	kiitettävä (suositusarvo)	> 21 %
1–2	erittäin hyvä	14–21 %
2–3	hyvä	7–14 %
3–4	tydyttävä	0–7 %
4	vaatimustaso	0 %
> 4	huono	energiantarve kasvaa

Vuosina 2005–2007 toteutettiin Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitoksen sekä Teknillisen korkeakoulun LVI-tekniikan laboratorion toimesta niin sanottu AISE-hanke. Hankkeessa tutkittiin asuinrakennusten ilmatiiviyttä, sisäilmastoa ja energiataloutta. Tutkimuksessa kerättiin tietoa suomalaisten pien- ja kerrostalojen sisäilmastosta, ilmanvaihdon toimivuudesta ja kyseisten talojen vaippojen ilmanpitävyydestä. Siinä todettiin, että oikein toteutetulla tiiviillä rakentamisella voidaan säästää huomattavasti energiaa, mutta ihminen on kuitenkin se, joka omilla kulutustottumuksillaan määrää, kuinka paljon rakennus sitä kuluttaa. Energiatohokkuusluokaltaan talo voi olla tasoa D, mutta mittaukset osoittavat energiankulutuksen olevan luokkaa A. Kyseinen ilmiö on mahdollinen, mutta se vaatii talon lämmityksen, valaistuksen ja laitteiden oikeaoppisen ja järkevän käytön. [9, s. 22–24.]

AISE-tutkimus osoitti, että rakennuksen hyvä ilmanpitävyys voidaan saavuttaa lähes kaikilla rakennetavoilla. Olennaisimmiksi seikoiksi osoittautuivat rakentamisen laatu ja siitä huolehtiminen. Rakentamisen huolellisella suunnittelulla ja toteutuksella päästään hyviin tuloksiin. Aukkaiden on syytä opetella käyttämään rakennusta ja sen laitteita oikein, jotta talon hyvästä ilmatiivyydestä hyödyttäisiin energiankulutuksessa. [9, s. 22–24.]

Rakenteiden ilmavuotokohdista kulkee vuotoilmaa niin rakennuksen sisään kuin ulospäin. Rakenteiden kautta kulkeutuvan vuotoilman lämmittämiseen tarvittavan energian laskemiseen tarvitaan kolme eri kaavaa. Tarvittavat lähtötiedot ovat vaipan ala, paikkakunnan lämmöntarveluku/astepäiväluku, tarkastelujakson pituus, sekä kohteen ilmavuotoluku q_{50} . [2, s. 18.]

Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{\text{vuotoilma}}$ saadaan laskettua kaavalla 1 [6, s. 5].

$$Q_{\text{vuotoilma}} = H_{\text{vuotoilma}} (T_s - T_u) \Delta t / 1000 \quad (1)$$

$Q_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia, kWh

$H_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

T_s = sisäilman lämpötila, °C

T_u = ulkoilman lämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi

Vuotoilman ominaislämpöhäviö $H_{\text{vuotoilma}}$ saadaan laskettua kaavalla 2 [6, s. 6].

$$H_{\text{vuotoilma}} = \rho_i \cdot C_{pi} \cdot q_v, \text{ vuotoilma} \quad (2)$$

$H_{\text{vuotoilma}}$ = vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

ρ_i = ilman tiheys, 1,2 kg/m³

C_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti, 1000 Ws/(kgK)

$q_v, \text{ vuotoilma}$ = vuotoilmavirta, m³/s

Vuotoilman vuotoilmavirta q_v lasketaan kaavalla 3 [6, s.6].

$$q_v, \text{ vuotoilma (m}^3/\text{s)} = (q_{50}/3600 \cdot X) \cdot A_{\text{vaippa}} \quad (3)$$

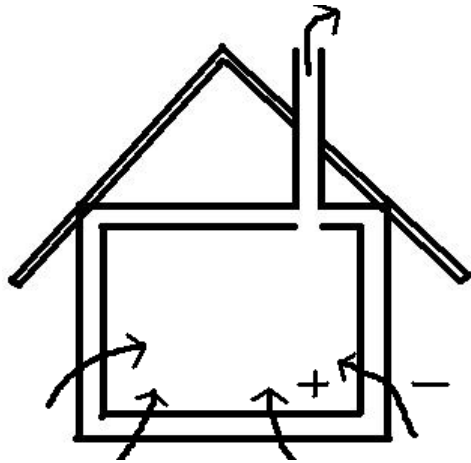
X = kerroin:

1-kerroksiselle 35

2-kerroksiselle 24

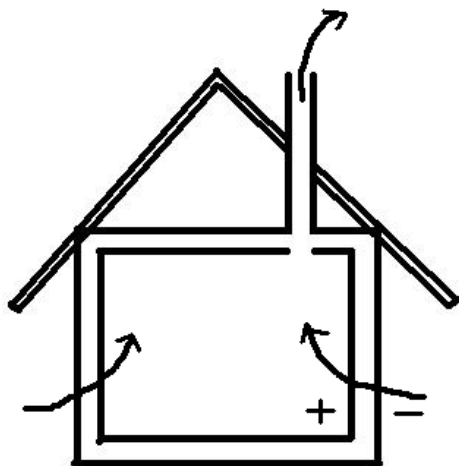
Seuraavassa esitetään havainnollistavin kuvin rakennusvaipan tiiviyyden merkitystä asumismukavuuteen [6, s. 65]:

Hyvin tyypillinen tilanne on, että ilmanvaihdon korvausilma pääsee vuotamaan vapaasti eri rakennusosien lävitse. Oleskelumukavuus huononee kylmän lattiapinnan ja vedontunteen johdosta. [6, s. 65.]



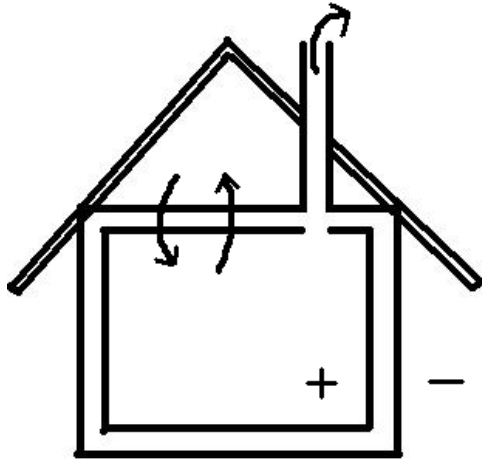
Kuva 3. Huono tilanne asumisviihtyvyyden kannalta [6, s. 65]

Mikäli vaipan tiivistäminen kauttaaltaan ei ole mahdollista, on kuitenkin tärkeää, että rakennuksen alaosa tiivistetään huolellisesti. Lattianraja on usein alipaineinen, joten sen tiivistäminen eliminoi ikävän mukavuushaitan eli lattiavedon. [6, s. 65.]



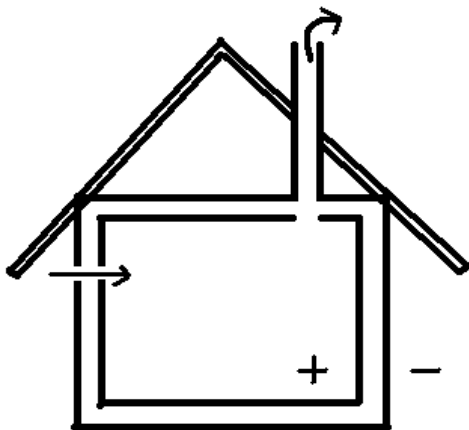
Kuva 4. Pieni parannus edelliseen. Kolmanneksi paras tilanne [6, s. 65]

Seuraavaksi tärkeintä on tiivistää seinissä olevat vuotokohtat, kuten ovet ja ikkunat. Tämä vaikuttaa oleellisesti oleskelumukavuuteen. [6, s. 65.]



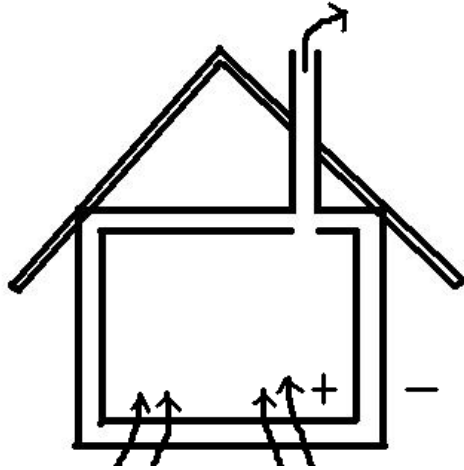
Kuva 5. Parannusta edelliseen. Toiseksi paras tilanne [6, s. 65]

Paras vaihtoehto rakennusvaipan tiiviydelle on, että ilma kulkee vain sen kululle tarkoitettuja reittejä pitkin. Korvausilman sisään-tulo järjestetään huonekohtaiseksi ja ilmanvaihtoa pystytään säätämään tarpeiden mukaan. Kaikki vedontunne saadaan eliminoiduksi ja asumisviihtyvyys on paras mahdollinen rakennusvaipan osalta. [6, s. 65.]



Kuva 6. Ilmanpitävä rakennusvaippa. Paras tilanne [6, s. 65]

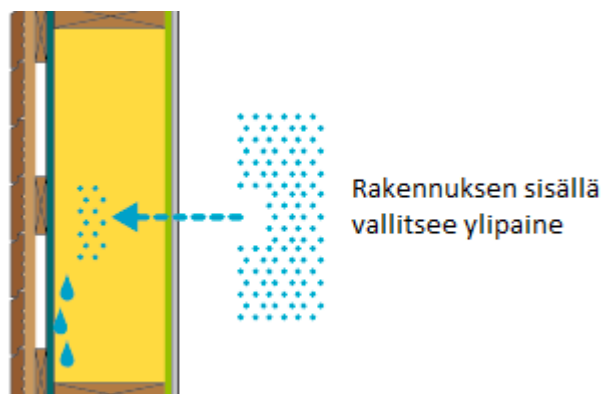
Jos lattia on rakennusvaipan epätiivoin osa, niin kaikki kylmä korvausilma tunkeutuu sisään lattiarakenteen kautta. Tällöin jalat jäähtyvät kylmän lattiapinnan sekä vedontunteen johdosta. [6, s. 65.]



Kuva 7. Lattiaveto. Huono tilanne [6, s. 65]

2.2 Ilmavuotojen merkitys rakenteiden kosteusteknisen toiminnan kannalta

Ilmanpitävyys vaikuttaa oleellisesti rakenteiden kosteudensiirtoon. Rakenteiden tulee olla mahdollisimman ilmatiiviitä, jotta ilmavuotokohtien kautta rakenteisiin ei pääse tunkeutumaan haitallista kosteutta. Rakenteiden kylmiin ulko-osiin aiheutuu sisäilman kosteuden kondensoitumisriski, kun lämmin sisäilma kulkee ulospäin rakennuksesta. Kosteuden kulkeutuminen rakennuksen sisältä ulospäin johtuu rakennuksen sisällä olevasta ylipaineesta. Rakennuksessa vallitsevan ylipaineen ansiosta sisäilman kosteus voikin aiheuttaa kosteus- tai homevaurion. Seuraavassa kuvassa esitetään periaate, kuinka lämpimän ilman vesihöyry siirtyy eristeeseen ja tiivistyy vedeksi rakenteen kylmemmälle puolelle. [2, s. 16–17; 4, s. 16.]



Kuva 8. Lämpimän ilman vesihöyry siirtyy eristeeseen [11]

Rakennuksen yläosiin syntyvä ylipaine johtuu niin sanotusta savupiippuilmioista ja se voidaan kumota riittävällä poistoilmanvaihdoilla. Ylipaineisia kohteita ovat tavallisimmin ullakkotilat, kattorakenteet ja sellaiset rakennukset, joissa korkean lämpötilan, rakennuksen korkeuden tai puuttuvan poistoilmanvaihdon ansiosta syntyy ylipainetta. Ulkoilman virtaus rakennuksen sisään johtuu puolestaan rakennuksessa vallitsevasta alipaineesta. Tämä ei kuitenkaan aiheuta kosteuden tiivistymistä, sillä ulkoilma on yleensä sisäilmaa kuivempaa. [2, s. 16–17.]

Ilmanpitäväksi suunniteltu asuinrakennuksen ulkovaippa tulee pitää mahdollisimman kuivana. Sisäilman kosteuden ja sadeveden pääsy vaippaan estetään asianmukaisilla rakenteellisilla ratkaisuilla. Kosteuden kulkua rakennuksen sisältä ulospäin tulee siis rajoittaa ja rakenteiden sisäpinnat pinnoittaa materiaalikerroksella, joka omaa riittävän vesihöyrynvastuksen. Kyseinen kerros toimii myös ilmansulkuna. Rakennuksen vaippa suunnitellaan niin, että rakenteissa käytettyjen materiaalien vesihöyrynvastukset pienenevät ulospäin mentäessä. Tämä takaa rakenteen kuivumisen aina ulospäin. [9, s. 23.]

2.3 Ilmatiivyyden rakennusmääräykset Suomessa

Ilmanpitävyydestä sanotaan Suomen Rakennusmääräyskokoelman osassa D3 2012 seuraavaa [3, s. 5]:

Kohta 2.3.1

”Sekä rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmapirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku.”

Kohta 2.3.2

”Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään $4 \text{ (m}^3/\text{(h m}^2\text{))}$. Ilmanvuotoluku voi ylittää arvon $4 \text{ (m}^3/\text{(h m}^2\text{))}$, jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä. Pienempi ilmanpitävyys voidaan osoittaa mittaamalla tai muulla menetelmällä. Jos ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menetelmällä, rakennusvaipan ilmanvuotolukuna käytetään $4 \text{ (m}^3/\text{(h m}^2\text{))}$.”

Edellä lainatut määräysten tekstit ymmärrän niin, että uudisrakennuksessa vuotoilmaluvun tulisi olla pienempi kuin $4 \text{ [m}^3/\text{(h m}^2\text{)]}$. Se, mitä tarkoittavat käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut, voi tekstiä tulkitseva henkilö päätellä itse. Seuraavassa taulukossa esitetään ilmanpitävyyden määräysten raja-arvot.

Taulukko 2. Ilmanpitävyyden määräysten raja-arvot [2, s. 22]

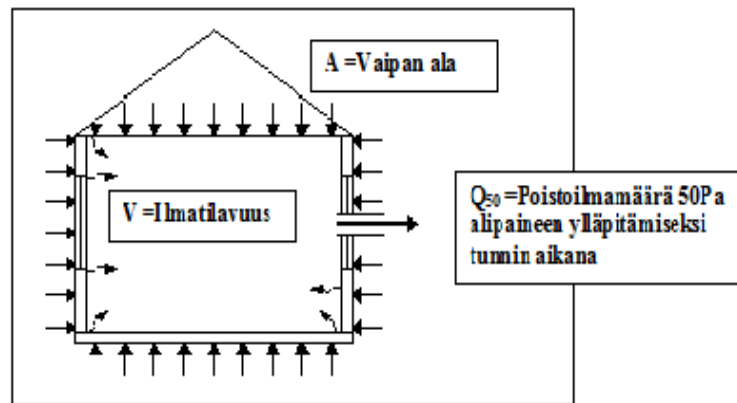
q50 -luku	Selite
> 4	Poikkeukselliset rakenteelliset ratkaisut
≤ 4	Vähimmäisvaatimus uudisrakennuksille
2	Laskennassa käytettävä vertailuarvo = määräysten mukainen rakennus
≤ 1	Määräysten suositusarvo

3 ILMATIIVIYSMITTAUS

Tiiviysmittausten avulla paikannetaan rakennusvaipan ilmavuotoja. Uudisrakennusten osalta tiiviysmittauksia tehdään laadunvalvontamittausten yhteydessä, jotta mahdolliset ilmavuotoreitit saadaan hyvissä ajoin paikannettua ja korjattua. Rakennusaikana suoritettut mittaukset ovat tärkeä osa laadunvalvontaprosessia, mutta lopullinen tiiviysmittaustulos saadaan vasta valmiista rakennuksesta. Käytössä olevien rakennusten osalta tiiviysmittauksia tehdään arvioitaessa epäpuhtauksien kulkeutumista ja paikannettaessa ilmavuotoreittejä. Tiiviysmittauksen avulla mitataan rakennuksen ilmavuotoluku, jota tarvitaan laskettaessa rakennuksen lämmöntarvetta. Lämmöntarpeen tarkastelu onkin ajankohtainen rakennuslupavaiheessa, jolloin tehdään lämpöhäviöiden tasauslaskelmaa ja laaditaan energiaselvitystä sekä -todistusta. Lämmöntarvetta tarkastellaan myös ennen rakennuksen vastaanottoa tarkistettaessa energiatodistuksen paikkansapitävyyttä. Käytössä olevien rakennusten osalta lämmöntarvetta tarkastellaan energiakatselmuksen yhteydessä ja laadittaessa energiatodistusta. [2, s. 16, 38; 5, s. 3.]

3.1 Ilmavuotoluvun mittaustapa ja mittalaitteisto

Rakennuksen tai sen osien tiiviyn mittaamiseen käytetään niin sanottua paine-eromenetelmää. Menetelmässä aiheutetaan tutkimuksen kohteena olevaan tilaan paine-ero sisätilan ja ulkoilman välille mittauskalustoon kuuluvan puhaltimen avulla. Puhallin asennetaan rakennuksen ulko-oven tai mahdollisesti ikkunan tuuletusluukun tilalle. Myös rakennuksen oma ilmanvaihtolaitteisto voi toimia puhaltimena tiiviysmittauksessa. Kuva 9 havainnollistaa paine-eromenetelmän periaatteen. [2, s. 29; 6, s. 27.]



Kuva 9. Rakennusvaipan tiiviysmittaus paine-ero menetelmällä [12, s. 8]

Mittaus toteutetaan yleisimmin vähintään viidellä eri paine-erolla. Jokaiseen mittaukseen mitataan tarvittava ilmamäärä paine-eron ylläpitämiseksi. Mittauksista lasketaan vuotoilmakäyrä. Vuotoilmakäyrän avulla saadaan laskettua ilmamäärä, joka vastaa 50 Pascalin paine-eroa. Kun ilmamäärä $[Q]$, joka tunnin aikana tarvitaan pitämään yllä 50 Pascalin paine-eroa, jaetaan tutkimuksen kohteena olevan tilan ilmatilavuudella $[V]$, saadaan tulokseksi ilmavuotoluku n_{50} . Ilmavuotoluku q_{50} saadaan jakamalla ilmamäärä vaipan alalla $[A]$. Ilmavuotoluvun n_{50} yksikkö on $[1/h]$, ja ilmavuotoluvun q_{50} arvo esitetään yksikössä $[m^3/(h \cdot m^2)]$. [2, s. 29.]

Alla ilmavuotolukujen laskentakaavat [1, s. 29]:

$$n_{50} = Q_{50}/V \quad (4)$$

n_{50} = rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pascalin paine-erolla $[1/h]$

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pascalin paine-erolla $[m^3/h]$

V = rakennuksen/mitattavan osan sisätilavuus $[m^3]$

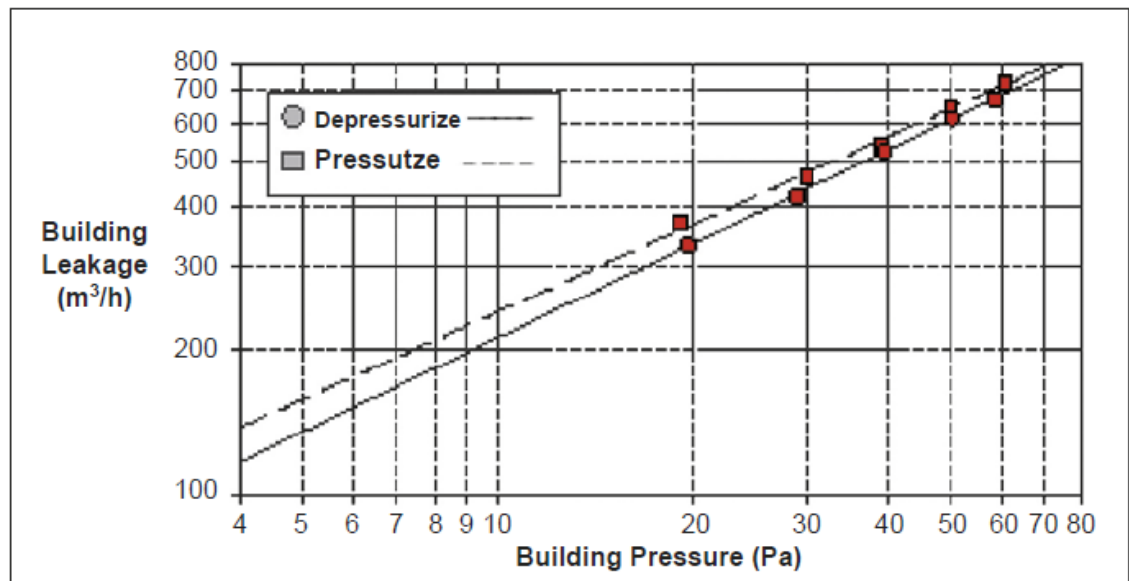
$$q_{50} = Q_{50}/A \quad (5)$$

q_{50} = rakennuksen ilmavuotoluku 50 Pascalin paine-erolla [$\text{m}^3/(\text{h m}^2)$]

Q_{50} = painekokeella mitattu ilmavirtaus 50 Pascalin paine-erolla [m^3/h]

A = rakennuksen/mitattavan osan ulkovaipan ala [m^2]

Seuraavassa kuvassa esitetään rakennuksen tyypillinen ilmavuotokäyrä. Kuvasta näkyy ilmamäärä suhteessa paine-eroon.



Kuva 10. Rakennuksen tyypillinen ilmavuotokäyrä, josta näkyy ilmamäärä suhteessa paine-eroon sekä yli- että alipaineessa [12, s. 9]

Tavallisimmin ilmatiiviyysmittaus suoritetaan kaupallisilla tiiviyysmittauslaitteistoilla. Yleensä valmista tiiviyysmittauslaitteistoa kutsutaan termillä Blower Door Systems. Kyseisillä tiiviyysmittauslaitteistoilla saadaan aikaan huomattavasti tarkempia mittaustuloksia, kuin toteutettaessa mittaus rakennuksen omalla ilmanvaihtojärjestelmällä. Tästä syystä mittaukset pyritään suunnittelemaan aina, kuitenkin mahdollisuuksien mukaan, tehtäviksi kyseiseen tarkoitukseen valmistetuilla tiiviyysmittauslaitteistoilla. [2, s. 30; 5, s. 10.]

Suomessa käytössä olevia tiiviyysmittauslaitteistoja tulee ainakin neljältä eri valmistajalta. Kaikkiin tiiviyysmittauslaitteisiin kuuluvat aina ovi- tai ikkuna-asennuskehikko ja lakana, ilmamäärämittauksella varustettu puhallin, paine-eromittausyksikkö, ohjausyksikkö sekä virtajohdot ja paine-eroletkut. Mittaus voidaan suorittaa pelkän laitteiston avulla, mutta

laitteistot on suunniteltu toimimaan myös tietokoneohjelman kautta. Tietokoneohjelma ohjaa mittausta, suorittaa tarvittavat laskelmat ja luo mittausraportin. [2, s. 30.]

Suomessa käytössä olevat mittalaitteet:

Retrotec 1000 ja Q4E:

Valmistusmaa: USA/Kanada

Käyttöalue: malli 1000 8–9514 m³/h (50 Pa) ja malli Q4E 65–13592 m³/h (50 Pa)



Kuva 11. Retrotecin laitteisto sisältöineen [13, s. 2]

Minneapolis:

Valmistusmaa USA

Käyttöalue 19–7200 m³/h (50 Pa)



Kuva 12. Minneapolisin laitteisto sisältöineen [13, s. 2]

Wöhler:

Valmistusmaa Saksa

Käyttöalue – 3000 m³/h (50 Pa)



Kuva 13. Wöhlerin laitteisto sisältöineen [13, s. 1]

Swema:

Valmistusmaa Ruotsi

Käyttöalue – 1120 m³/h (50 Pa)



Kuva 14. Sweman laitteisto sisältöineen [13, s. 1]

Tiiviysmittauslaitteistoissa oleellimmat seikat ovat puhaltimen kapasiteetti ja käyttöalue. Puhaltimissa on 10 ampeerin sulakkeet ja ne toimivat valovirralla. Suurilla puhaltimilla ei saada mitattua tarkasti pieniä ilmamääriä, joten puhallinaukkoihin on olemassa kuvien 15–16 mukaisia kuristusrenkaita, joilla ilmavirta-aukkoa saadaan pienennettyä. Sweman ja Wöhlerin laitteistoihin ei ole saatavissa kuristusrenkaita. [13, s. 3.]



Kuva 15. Retrotec-puhaltimeen kuuluvia kuristusrenkaita ovat A, B, C8, C8, C4, C2, C1 ja L4, L2, L1 [13, s. 3]



Kuva 16. Minneapolis-puhaltimen kuristusrenkaat ovat A, B, C, D, E [13, s. 3]

Tiiviysmittauksessa tarvittavia muita välineitä ja laitteita [2, s. 34]:

- etäisyysmittalaite rakennuksen vaipan-alan ja -tilavuuden mittaamiseen
- lämpömittari
- muovivaipia ja teippiä, joilla ilmatäivysmittausta häiritsevät aukot tukitaan
- jalkapallon sisäkumi sekä ilmapumppu ilmastointikoneen tulo- ja poistokanavien päiden tukkimiseen
- painekoeohjelma ja kannettava tietokone

- lämpökamera ilmapuotokohtien paikantamiseen alipaineessa
- savukone ilmapuotokohtien paikantamiseen painekokeen jälkeen
- tikkaat

3.2 Mittalaitteiden valinta kohteen mukaan

Mittauksen suunnitteluvaiheessa valitaan aluksi mittauskohteeseen sopiva tiiviysmittauslaite. Mittauslaite valitaan mittauksessa tarvittavan ilmamäärän mukaan. Tiiviisiin ja pieniin rakennuksiin riittää pienempi ilmamäärä kuin hatariin ja suuriin rakennuksiin. Jotta voidaan valita oikeanlainen puhallintyyppi ja oikea määrä puhaltimia, lasketaan maksimi-ilmavirta Q , jolla saadaan aikaan vaadittu ilmapuotoluku. Tämän jälkeen valitaan puhallintyyppi ja lukumäärä. Myös mittauskohteen koko ja ilmatiiviysvaatimus selvitetään ennen mittauksia. Mikäli tiiviysvaatimusta ei ole, arvioidaan ilmatiiviysluku aikaisemmin tehtyjen mittauksien tulosten perusteella. [2, s. 35.]

Mittauksessa tarvittavan ilmamäärän (Q) laskukaavat [2, s. 35]:

$$Q = q_{50} \text{arvio} \cdot A \quad (6)$$

Q = tarvittava ilmamäärä m^3

q_{50} arvio = ilmapuotoluvun arvio $\text{m}^3/\text{h m}^2$

A = vaipan ala m^2

$$Q = n_{50} \text{ arvio} \cdot V \quad (7)$$

Q = tarvittava ilmamäärä m^3

n_{50} arvio = ilmapuotoluvun arvio $1/\text{h}$

V = kohteen tilavuus

3.3 Mittausolosuhteet ja valmistelevat toimenpiteet

Luotettavien mittauksien aikaansaamiseksi tarvitaan riittävän vakaa paine-ero-olosuhteet. Koetta ei suoriteta, mikäli tuulen nopeus on liian suuri ($> 6 \text{ m/s}$ tai > 3

Beaufortin asteikolla). Koetta ei myöskään suoriteta, jos rakennuksen sisä- ja ulkolämpötilojen erotus rakennuksen korkeudella kerrottuna ylittää arvon 500 m °C. Kyseisen arvon ylittyessä savupiippuilmio vaikuttaa mittaustuloksiin liian voimakkaasti. [2, s. 37.]

Mittauksen alussa suoritettavat oheismittaukset [2, s. 38]:

- ulkoilman lämpötila, joka mitataan mahdollisimman läheltä kohdetta
- sisäilman lämpötila, joka mitataan tilasta, jonne puhallin asennetaan
- tuulen suunta ulkona, joka mitataan mahdollisimman läheltä kohdetta

Edellä mainitut vaatimukset pätevät normaalissa tiiviysmittauksessa, jossa mittaus tehdään vähintään 50 Pascalin paine-eroon saakka. Tehtäessä mittaus pienemmällä paine-erolla, kuitenkin kolmella eri paine-erolla, asetetaan ulko-olosuhteille tiettyjä vaatimuksia. Tuulen nopeus saa olla enintään 3 m/s ja ulkoilman lämpötilan on oltava yli 0 °C saavutettavan paine-eron ollessa 30 Pascalia. Saavutettavan paine-eron ollessa 20 Pascalia on ulkoilman lämpötilan oltava yli 15 °C ja tuulen nopeuden enintään 1 m/s. Mittausten ohella kirjataan lähimmältä sääasemalta saatu mittauspäivän ulkoilman paine. Paine-ero pyritään mittaamaan aina tuulelta suojaisimmalta julkisivulta. Tilanteessa, jossa painekoelaitteisto on ulko-oveen asennettava, määrää ulko-oven sijainti mittauspaikan. [2, s. 37; 5, s. 11.]

3.3.1 Mittauksen rajaus

Mittauksen rajauksessa pyritään aina koko rakennuksen mittaamiseen, mikäli mahdollista. Lähtökohtina mittauksessa on, että mittausalueen rajaa rakennuksen ulkovaippa, mittaukseen otetaan mukaan kaikki rakennuksen pääkäyttötarkoituksessa olevat tilat, sekä lämpimät tilat ja kaikki ilmanvaihtoteknisesti samaa osastoa olevat tilat. Mittaukseen mukaan otetaan myös kaikki jäädytetyt ja lämpimät tilat, joissa ilmanvaihto on koneellinen, sekä tilat, jotka sijaitsevat selkeästi ilmanpitävän rakennusvaipan sisäpuolella. [2, s. 39.]

Mittauksesta voidaan jättää pois tila, joka on eri palo-osastoa kuin mittauksen pääkohde. Tällainen tila voi olla esimerkiksi erillinen autotalli. Mikäli rakennuksessa on jokin selkeästi erillinen tila, johon ilmayhteyttä ei ovien tai ilmanvaihtokanavien kautta ole, voidaan sekin jättää pois mittauksesta. Jos mitattavana olevassa kohteessa on rakennusosia, joita ei haluta

mukaan mittaukseen, tulee kyseisiä tiloja erottavien rakenteiden olla ilmatiiviitä. Mikäli tilojen väliset rakenteet eivät ole ilmatiiviitä, tulee tilojen välille toteuttaa vastaava paine kuin mitattavassa tilassa, jotta välirakenteen läpi kulkeva ilmavirta saadaan estettyä.[2, s. 39; 5, s. 12.]

3.3.2 Puhaltimen asennus

Mittalaitteet pyritään asentamaan tuulelta suojaisimmalle julkisivulle ja korkeussuunnassa puoliväliin ilmatilavuutta. Puhallin sijoitetaan kohteessa yhteen ikkuna- tai oviaukkoon käyttäen kehikkoa ja tiivistysrengasta. Seuraava kuvasarja havainnollistaa mittauslaitteiston asennusjärjestyksen. [2, s. 39.]



Kuva 17. Aluksi ovikehikko säädetään aukkoon sopivaksi.



Kuva 18. Tiivistyskangas kiristetään säädettyyn ovikehikkoon.



Kuva 19. Kehikko tiivistyskankaineen asennetaan oviaukkoon salvoilla kiristäen.



Kuva 20. Puhallin asennetaan tiivistyskankaassa olevaan sille tarkoitettuun aukkoon.



Kuva 21. Paine-eroletkut, virtajohdot ja kaapelit asennetaan toimintavalmiuteen ja näin mittauskalusto on mittausvalmiudessa.

3.3.3 Painekoetta edeltävät valmistelut

Ennen painekokeen aloittamista tiivistetään ilmanvaihtokanavat, viemärit, liesituuletin, tulisija sekä vesi- ja viemäriliittymien asennusluukut. Tiivistäminen tapahtuu ensisijaisesti kumipallojen avulla. Mikäli kumipallon asennus ei ole mahdollista, voidaan tiivistämiseen käyttää kyseiseen tarkoitukseen soveltuvaa teippiä ja suurten aukkojen kohdalla myös

muovia. Tiivistämisen tarkoituksena on estää vuotoilman kulkeminen paineistetussa rakennuksessa mahdollisten ilmapuotoreittien kautta. Tiivistämisen lisäksi suljetaan kaikki rakennuksessa sijaitsevat tarkoituksenmukaiset aukot ja viemäreiden vesilukkoihin lasketaan vettä. Paineekokeen suorittamisen aikana pidetään kaikki asunnon väliovet auki, jotta varmistetaan ilman esteetön kulkeminen rakennuksen sisällä. Hormien ja ilmanvaihtuventtiilien tulppaaminen tapahtuu aina rakennuksen ulkopuolelta, mikäli mahdollista. [2, s. 44–45.]

3.3.4 Vaipan alan ja tilavuuden määrittäminen

Rakennuksen sisätilavuuden laskeminen tapahtuu rakennuksen ilmatilavuuden mukaan. Ilmatilavuus saadaan kertomalla rakennuksen huonekorkeus rakennuksen kokonaissisämittojen mukaan lasketulla pinta-alalla. Ilmatilavuuteen ei lasketa mukaan välipohjia. Vaipan alaan kuuluu sisämittojen mukaan laskettujen ulkoseinien alojen lisäksi sekä alapohjan että yläpohjan ala. Rakennusvaipassa olevat aukot eivät vähennä vaipan alaa. Rakennuksen ilmatilavuutta tai vaipan alaa eivät myöskään vähennä alas lasketut katot, eivätkä muut sisäpuoliset rakennusosat. Laskettaessa keskeneräisen rakennuksen ilmatilavuutta ja vaipan alaa lasku suoritetaan jo olemassa olevien sisäpintojen mukaan. Se kompensoi keskeneräisen sisäpinnan puutteellista ilmatiiviyttä. Edellisistä seikoista päätellen, muutamia poikkeuksia lukuun ottamatta, tiiviysmittaus suoritetaan aina kokonaissisämittojen mukaan. Poikkeuksena on esimerkiksi märkätilan ulkoseinä. Tilavuus ja vaipan-ala tulee laskea vähintään kahteen otteeseen isojen laskuvirheiden välttämiseksi. Suositellaan, että mittaukset suorittaa eri henkilö ja että ne tehdään rakennuspiirustuksista sekä kohteessa paikan päällä. [2, s. 50; 5, s. 12; 15, s. 2.]

3.4 Ilmatiivysmittauksen suoritus

Ilmatiivysmittaus voidaan suorittaa vasta kun rakennuksen höyrynsulkumuovit on teipattu ja asennettu kunnolla, ikkunat ja ovet on asennettu ja tiivistetty, läpiviennit on tiivistetty ja viemärit ja kaivot ovat käytössä, eli kaivoissa tulee olla vettä. Sisäverhoilukin osaltaan tiivistää rakenteita. [2, s. 38–39.]

Mittausohjelmaan syötetään sisäilman ja ulkoilman lämpötilat sekä ulkoilman paine. Sisä- ja ulkoilman välille luodaan puhaltimen avulla paine-ero, eli rakennus joko yli- tai alipaineistetaan. Ylipainemittauksessa puhaltimella imetään ilmaa ulkoa sisälle rakennukseen, kun taas alipainemittauksessa ilmaa puhalletaan rakennuksesta ulospäin. Tiiviysmittaus suoritetaan aina joko yli- tai alipaineisena. Kuitenkin aina kun mahdollista, mittaus tehdään sekä yli- että alipaineisena, jolloin mittaustulokseksi tulee molempien mittausten keskiarvo. [2, s. 50.]

Ennen varsinaisen mittauksen aloittamista suoritetaan manuaalinen ajo. Manuaalisessa ajossa rakennukseen ajetaan 50 Pascalin alipaine ohjaamalla puhallinta tyristorisäätimellä. Siinä selviää, onko rakennukseen jäänyt tiivistämättömiä ilmavuotopaikkoja, mitä kuristusrenkaita tullaan käyttämään ja saadaanko rakennukseen luotua riittävän suuri alipaine. [2, s. 50–51.]

Varsinaista puhallussarjaa ennen mitataan niin sanottu vallitseva paine-ero. Vallitsevan paine-eron mittauksessa puhallinaukko on peitettynä. Kyseisellä mittauksella mitataan savupiippuvaikutuksesta ja tuulesta aiheutuva vallitseva paine-ero. Tuulen ja savupiippuvaikutuksen aiheuttamalle vallitsevalle paine-erolle on useita eri nimityksiä, kuten nollapaine-, lepopaine-, lähtöpaine- ja alkupaine-ero. Lähtöpaine-eromittaus suoritetaan tavallisimmin 5–10 kertaa muutamia sekunteja kestäväinä mittaussarjana. Mittaussarjasta lasketaan keskiarvo lähtöpaineelle, jonka arvo tulisi olla pienempi kuin 5 Pascalia. Mikäli 5 Pascalin paine-ero ylitetään, mittaus ei keskeydy, vaan suoritetaan lisäksi ylipainemittaus, jolloin käytetään näiden keskiarvoa. Tämän jälkeen puhaltimella luodaan valittu paine-ero. Jotta saavutetaan tietyn suuruinen ja tasainen paine-ero, mitataan vielä tarvittava puhaltimen läpäisemä ilmavirta. Ilmavirran mittaus suoritetaan vähintään viidellä tasaisin välein olevilla paine-eroilla. Suurimman paine-eron tulee olla vähintään 50 Pascalia. [2, s. 51–52.]

Mittauspaineet valitaan itse, mutta seuraavia paineita suositellaan [2, s. 52]:

mittauspaine-ero 30 Pa

mittauspaine-ero 40 Pa

mittauspaine-ero 50 Pa

mittauspaine-ero 60 Pa

mittauspaine-ero 70 Pa

Kuristusrenkaan valinta vaikuttaa oleellisesti luotettavan mittaustuloksen aikaansaamiseen. Mittausohjelmaan kerrotaan käytettävä kuristusrengas. Mittauslaite mittaa paine-eroa puhaltimen akselin ympäriltä, josta myös tapahtuu läpivirtaavan ilmamäärän mittaus jokaisella käytettävällä paine-erolla. Suoritetun puhallussarjan jälkeen mitataan loppupaine. Loppupaineen mittausta varten puhallinaukko peitetään. Loppupaine-eron mittaus tapahtuu myös 5–10 kertaa muutaman sekunnin mittaussarjana, josta loppupaineelle lasketaan keskiarvo. Lähtöpaineen ja loppupaineen ero saa olla enintään 5 Pascalia, jotta kokeen tulos voidaan hyväksyä. Tietokone mallintaa kaikissa paine-eroissa suoritettujen mittausten ja ilmavirtaustulosten pohjalta ilmavuotokäyrän, jonka jälkeen puhallin käännetään ja suoritetaan ylipainemittaus vastaavalla tavalla. [2, s. 52.]

Jos mittaus voidaan suorittaa sekä yli- että alipaineisena, tehdään molemmista suoritetuista mittauksista erilliset ilmavuotokäyrät ja lasketaan ilmavuotoluvun arvot. Rakennuksen lopullinen ilmavuotoluku on tehtyjen ali- ja ylipainemittausten tulosten keskiarvo. Mittaus uusitaan, mikäli ali- ja ylipainemittausten tulokset eroavat toisistaan yli $0,5 \text{ m}^3 / \text{m}^2 \text{ h}$. Mikäli tulokset poikkeavat uusintamittauksen jälkeenkin yli sallitun arvon, käytetään rakennuksen ilmavuotolukuna suurempaa lukua. [2, s. 54.]

3.5 Ilmavuotokäyrän laskenta

Mittausohjelmisto laskee kuristusrenkaan tiedosta ja puhaltimen akselin paine-erosta mitatun ilmamäärän. Ohjelma korjaa automaattisesti mitatun ilmamäärän lämpötilan. Lämpötila vaikuttaa oleellisesti ilmamäärään, sillä se vaikuttaa suoraan ilman tiheyteen. Tämän takia sisä- ja ulkoilman lämpötilat tulee mitata tarkasti ja ilmoittaa oikein, sekä ilmoittaa ohjelmaan, suoritetaanko mittausta rakennuksen sisä- vai ulkopuolelta. Mittaajan tulee määrittää lämpötilakorjaus, mikäli ohjelma ei sitä itse tee. Näin toimitaan tilanteessa, jossa puhaltimen läpi kulkevan ilmavirran lämpötila on eri kuin mittalaitteen kalibrointilämpötila, joka yleensä on $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ohjelmaan syötetään korjatut arvot, joista tietokone piirtää rakennuksen vuotokäyrän. [2, s. 54.]

Ilmavirran korjaus [2, s. 54]:

$$Q_{\text{vuoto}} = Q_{\text{lukema}} * \left[\sqrt{\frac{(t_m + 273)}{(t_k + 273)}} \right] * \frac{(20 + 273)}{(t_m + 273)} \quad (8)$$

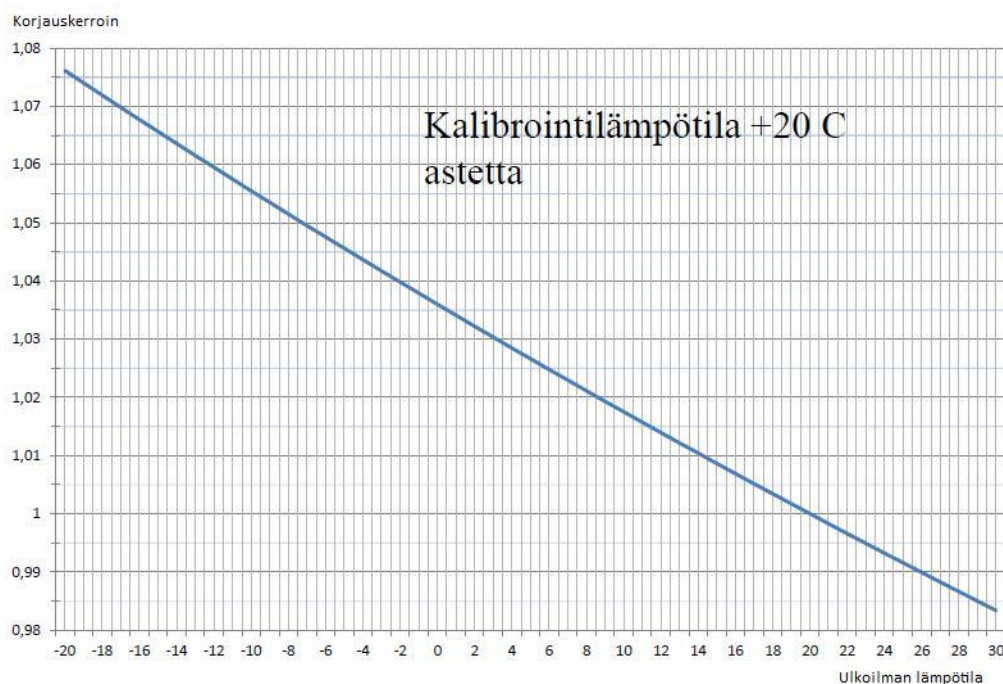
Q_{vuoto} = korjattu ilmavirtaus [m^3/h]

Q_{lukema} = luettu ilmavirtaus [m^3/h]

t_m = mittauslaitteiston läpi virtaavan ilman lämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

t_k = kalibrointilämpötila [$^{\circ}\text{C}$]

Seuraava kuva esittää, kuinka ulkoilman lämpötila vaikuttaa ilmamäärän korjauskertoimeen puhaltimen kalibrointilämpötilan ollessa 20°C .



Kuva 22. Ulkoilman lämpötilan vaikutus ilmamäärän korjauskertoimeen, kun puhaltimen kalibrointilämpötila on 20°C [6, s. 57]

3.6 Raportointi

Tiiviysmittauksesta laaditaan aina vähintäänkin mittausdokumentti eli tiiviysmittauspöytäkirja. Esimerkiksi rakennusvalvonnalle dokumentti toimii sellaisenaan todistuksena rakennuksen tiiviyydestä. Asiakkaan kanssa voidaan myös sopia, että

mittauksesta laaditaan tiiviysmittauspöytäkirjaa laajempi, kirjallinen tutkimusraportti eli tiiviysmittausraportti. [2, s. 63.]

3.6.1 Tiiviysmittauspöytäkirja

Tiiviysmittauspöytäkirja sisältää seuraavat tiedot [2, s. 63]:

- kansilehti, jossa näkyy lasketut ilmavuotoluvun arvot q_{50} ja n_{50} yhden desimaalin tarkkuudella sekä tiiviysmittauksen energialuokka
- mittauksen suorittajan yhteystiedot
- mittauksen päivämäärä ja kellonaika
- tiedot mittauskohteesta; kuten kohde ja osoite, ilmatilavuus, vaipan ala, rakennuksen kokonaiskorkeus, kohteen laajuustietojen virheprosentti, mittauksen kattavuus
- säätiedot: tuulen nopeus, puuska ja suunta sekä ilmakehän paine
- sisälämpötila
- käytetyn mittauslaitteiston tyyppi, malli ja sarjanumerot
- lähtöpaine, loppupaine ja mittauspaineet sekä ilmamäärät
- laskettu vuotoilmavirta 50 Pascalin paine-erolla
- vuotoilmakäyrä
- lasketut ilmavuotoluvun arvot q_{50} ja n_{50} 0,01 tarkkuudella

3.6.2 Tiiviysmittausraportti

Tiiviysmittausraportti sisältää pöytäkirjan lisäksi seuraavanlaiset tiedot [2, s. 63]:

- tilaajan yhteystiedot
- mittauksen tavoite
- käytetyt menetelmät ja tutkimuksen rajaus
- virhetoleranssiarvio
- johtopäätökset ja havainnot

3.7 Mittausvirheet, tarkkuus ja laitteiston kalibrointi

Mittauksen lopputulokseen sisältyy aina mittausvirhettä. Valmiilla kaupallisella ja kalibroidulla tiiviysmittauslaitteistolla toteutetun mittauksen virheprosentti on tavallisesti 3–10 prosenttia. Virhe koostuu ilmamäärän mittauksessa tapahtuneesta virheestä ja rakennuksen suureiden laskemisessa tapahtuneesta virheestä. Ilmamäärän mittauksessa tapahtunut virhe on yleensä alle kolme prosenttia, kun taas huomattavasti suuremmat mittausvirheet aiheutuvat rakennuksen suureiden laskemisessa aiheutuneista virheistä. Mittaukset tulee toistaa tai ainakin tarkistaa, mikäli tulos ei vaikuta järkeenkäyvältä. Esimerkiksi kapasiteetiltaan väärä puhallin voi aiheuttaa suuria mittausvirheitä. Ilmavirran mittaustavalla on myös merkitystä, sillä heikoilla virtauksilla saadaan monesti epävakaita mittaustuloksia ja virtaukset kanavoituvat. Mittauksissa esiintyvä hajonta tulee ilmoittaa, joten kahden desimaalin tarkkuutta tulee välttää. [2, s. 56.]

Käytännössä merkittävimmät virheet syntyvät rakennuksen suureiden mittaamisessa. Seuraavat virheprosentit ilmatilavuuden ja vaipan alan osalta on huomattu olevan hyvin suuntaa antavia. [2, s. 57.]

- 1 prosentti: suureet mitattu vähintään kolmeen otteeseen eri henkilön toimesta
- 3 prosenttia: suureet mitattu vähintään kahteen otteeseen eri henkilön toimesta
- 5 prosenttia: suureet mitattu vähintään kahteen otteeseen saman henkilön toimesta
- 5 prosenttia: suureet mitattu sekä piirustuksista että kohteesta
- 7 prosenttia: suureet mitattu vain kohteessa
- 10 prosenttia: suureet mitattu vain piirustuksista

Tiiviysmittauslaitteiston valmistaja määrittelee ensisijaisesti laitteiston kalibrointivälin, ja se on tavallisesti 2–5 vuotta. Muussa tapauksessa kalibrointivälit ovat seuraavat [5, s. 13]:

- puhallinlaitteet: kaksi vuotta
- paine-ero ja virtausmittarit: kaksi vuotta
- lämpötila-anturit: neljä vuotta

Tarkimpiin tuloksiin päästään, kun suoritetaan suureiden mittaukset useamman eri henkilön toimesta sekä kohteessa paikan päällä että piirustuksista. On todennäköistä, että jokaiselle

rakennuksen suureiden laskijalle tulee laskuissa jonkinlaisia mittavirheitä, joten virheet tasoittuvat toteutettaessa laskut useamman eri henkilön toimesta. Itse mittauksen toteuttajan tulee tietysti olla ammattitaitoinen, sertifioinnit suorittanut henkilö, luotettavan lopputuloksen aikaansaamiseksi, sillä väärissä käsissä sopivallakin mittauskalustolla on mahdollisuus saada täysin virheellisiä mittaustuloksia.

4 LÄMPÖKUVAUS

Lämpökuvaus on rakenteita rikkomaton menetelmä, jota käytetään apuna tarkasteltaessa rakennuksen lämpötekniistä kuntoa. Lämpökuvauksen avulla selvitetään rakennuksen kunnan- ja laadunvalvonnan yhteydessä rakennuksen ulkovaipan lämpötekniinen kunto, lämmöneristekerrosten toimivuus sekä rakenteellinen ilmanpitävyys. Lämpökameran avulla paikannetaan rakennuksen ilmavirtausreittejä sekä tarkastellaan rakenteita fysikaalisen toiminnan kannalta. Lämpökuvaus osoittaa mahdolliset häiriöt LVIS-laitteiden toimivuudessa ja toimii myös apuna paikannettaessa rakennuksessa mahdollisesti esiintyviä kosteusvaurioita. [8, s. 19; 16, s. 1.]

Tyypillisimmin lämpökuvaus toteutetaan uuden rakennuksen osalta takuuajana tarkasteltaessa ulkovaipan toimivuutta ja vanhan rakennuksen osalta tarkasteltaessa ilma- ja lämpövuotokohtia asuntokauppaa tai korjaustarpeiden kartoittamista varten. Lämpökuvaus on hyvin oleellinen osa myös kiinteistöjen kuntotutkimuksia. [8, s. 19; 16, s. 1.]

Tarve lämpökuvaukselle syntyy yleensä seuraavista seikoista [8, s. 19]:

- vedon tunne
- kylmä sisälämpötila
- rakennuksen suuri energiankulutus
- rakennuksen lämpötekniisen korjauksen suunnittelu
- rakennuksen korjaustarve, kun samalla parannetaan rakennuksen lämpötekniistä toimintaa
- kosteusvaurioepäily
- riittämätön ilmanvaihto
- rakennuksen laadun ja lämpötekniisen toimivuuden varmistus
- energiakatselmus

4.1 Lämpökameran toimintaperiaate

Kaikki pinnat säteilevät lämpöä. Pinnan lähettämän säteilyn voimakkuus riippuu pinnan emissiokertoimesta ja pintalämpötilasta. Lämpökamera toimii lämpösäteilyn

vastaanottimena. Se mittaa tutkimuksen kohteena olevasta pinnasta lähtevää infrapuna-alueen kokonaissäteilyä. Kohteen pinnasta tulevaan kokonaissäteilyyn sisältyy myös säteilyä, joka heijastuu kohteen pinnasta, sekä joskus säteilyä, joka tulee pinnan läpi. Kamera muuttaa automaattisesti kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden ihmiselle ymmärrettävämpään muotoon eli lämpötilatiedoksi, josta reaaliajassa muodostetaan lämpökuva. [1, s. 15–16.]

Materiaalille ominainen emissiokerroin on välillä 0–1. Luku osoittaa, kuinka pinta säteilee infrapunaenergiaa verrattuna täydelliseen säteilijään eli täysin mustaan kappaleeseen. Mustakappaleen emissiokerroin on 1, ja siitä syystä se on täydellinen säteilijä. Kiiltävän ja heijastavan pinnan emissiokerroin on alhainen, joten suuri osa pinnalta lähtevästä lämpösäteilystä on todennäköisesti ulkopuolisten pintojen ja lämmönlähteiden heijastuksia. Siitä syystä alhaisen emissiokertoimen omaavan pinnan todellisen lämpötilan mittaaminen lämpökameran avulla on lähes mahdotonta. Mitä lähempänä pinnan emissiokerroin on lukua 1, sitä pienempi on heijastuksen osuus ja lämpökameran vastaanottama lämpösäteily on mitä suuremmilta osin kappaleen itsensä lähettämää lämpösäteilyä. Näin ollen kameralla mitattu pinnan lämpötila on lähempänä pinnan todellista lämpötilaa. [1, s. 16.]

Kuvauskulma vaikuttaa pinnan emissiivisyyteen, joten korkean emissiokertoimen omaavan materiaalin emissiokerroin voi laskea huomattavastikin, kun kohdetta kuvataan tarpeeksi vinosta kulmasta. Silloin kuvattavan kohteen pintalämpötilakin laskee merkittävästi. Kuvaustulokseen merkittävimmin vaikuttavat tekijät ovat pinnan emissiivisyys, kuvauskulma sekä sisäilma- ja sääolosuhteet, niin mittaushetkellä kuin sitä ennen. [1, s. 17–18.]

Vuodesta 1995 alkaen markkinoille on tullut lämpökameroita, joiden toiminta perustuu matriisitekniikkaan. Detektoreissa eli matriisi-ilmaisimissa kaikilla kuvauspisteillä on oma ilmaisimensa. Kohteen lämpösäteily aiheuttaa ilmaisimen resistiivisen muutoksen, johon mittaustulokset perustuu. Ilmaisimimateriaalina toimii samantyyppinen materiaali kuin sähkövastusten valmistamisessa. Suurin lämpötilojen erotuskyky ($0,03\text{ }^{\circ}\text{C}$) saavutetaan kvanttikaivodetektorilla, joka on ilmaisintyypeistä kaikkein tuorein. [1, s. 16.]

4.2 Lämpökuvaajan pätevyys

Viranomaisten puolesta lämpökuvaajalta ei edellytetä osoitettua pätevyyttä. Lähtökohtana kuitenkin on, että lämpökuvauksia suorittaa vain ammattitaitoinen ja mielellään hyvän

kokemuksen omaava henkilö. Henkilön täytyy osata arvioida kokonaisuutena kohteen lämpötekkinen toimivuus ja seikat, jotka voivat vaikuttaa kuvaustulokseen. Lisäksi kuvaajan täytyy osata määritellä kuvattavan rakennuksen ja sen ympäristön asettamat reunaehdot. Kaikkia lämpökuvaukseen liittyviä seikkoja ja pieniä yksityiskohtia ei määrätä normeilla, joten kuvauksen onnistumisesta vastuu on itse kuvaajalla. Tästä syystä kuvaajalla täytyy olla hallinnassaan hyvä rakennustekniikan tuntemus ja taito käyttää kameraa sekä siihen kuuluvia sovelluksia oikein. Kuvaajan täytyy myös osata tulkita saatuja tuloksia oikein väärinkäsitysten välttämiseksi. [1, s. 13–14; 16, s. 2.]

Pätevyyden osoittamiseksi täydennyskoulutusta kiinteistön lämpökuvaajille on järjestetty jo vuodesta 1999 lähtien. Vuodesta 2004 eteenpäin Rakennusteollisuuden koulutuskeskus RATEKO on kiinteistökurssin pohjalta järjestänyt lämpökuvaajien koulutusta, joka tähtää henkilösertifiointiin. Sertifioinnin tarkoitus on varmistaa, että rakennusalalla lämpökuvauspalveluita myyvät henkilöt osaavat suorittaa lämpökuvauksen sen vaatimalla tavalla ja että tuloksien tulkintakin on varmallalla pohjalla. Sertifioinnit myöntää VTT. [1, s. 13–14; 16, s. 2.]

4.3 Lämpökamerat ja mittalaitteet

Lämpökameroita on lyhytaalto- ja pitkäaaltokameroita. Lyhytaaltokamerat toimivat 3–5 ja pitkäaaltokamerat 8–14 mikrometrin aallonpituuksilla. Kiinteistöjen tutkinnassa käytetään normaalisti pitkäaaltokameroita. Kuvattavan kohteen lähettämän lämpösäteilyn aallonpituus onkin kameran valintaan vaikuttava tekijä. [17, s. 79.]

Rakennusten lämpökuvaukseen soveltuvat lämpökamerat ovat mittaavia, tasapainotettuja sekä kuvantavia mittalaitteita. Tarkoitus on, että lämpökamera muodostaa kuvattavan kohteen pintalämpötilajakaumasta havainnollistavan lämpökuvan ja että kameralla pystytään mittaamaan suoraan pintalämpötiloja. Muutokset ulkoisten olosuhteiden ja kameran rungon lämpötiloissa eivät vaikuta mittaustulokseen. Kamerassa täytyy olla kuvien tallennusmahdollisuus. Tämä mahdollistaa raportoinnin, tulosten jälkikäsitteilyn ja analysoinnin. Lämpökamerat, joissa ei ole tulosten analysointi- ja jälkikäsitteilymahdollisuutta, soveltuvat käytettäväksi esimerkiksi rakennustyön aikana tapahtuvan laadunvalvonnan yhteyteen. [18, s. 3.]

Huoneilman lämpötilan- ja kosteudenmittaus tapahtuu 1,1 metrin korkeudelta, oleskeluvyöhykkeeltä käsin, elektronisella tai jollakin muulla, kalibroidulla, kyseiseen tarkoitukseen sopivalla standardin SFS 5511 vaatimukset täyttävällä mittalaitteella. Myös ulkoilman lämpötilanmittaus tapahtuu elektronisella tai muulla kyseiseen tarkoitukseen soveltuvalla, kalibroidulla mittalaitteella. Ulkolämpötila mitataan rakennuksen välittömästä läheisyydestä. Paine-eron mittaus rakennuksen vaipan yli tapahtuu elektronisella paine-eromittarilla. Paine-eromittarin tarkkuus tulee olla vähintään 1 Pascalia. [18, s. 3.]

4.3.1 Kameran kalibrointi

Lämpökamera tulee kalibroida vähintään kahden vuoden välein. Kalibroinnin hoitaa itse valmistaja, maahantuoja tai kalibrointiin valtuutettu laitos. Lämpökuvaaajalla on vastuu kameran kalibroinnista ja pyydettyä hänen on pystyttävä esittämään kalibrointitodistus. Uutta mittaavaa lämpökameraa hankittaessa myyjän tulee toimittaa todistus mittalaitteen kalibroinnista. Uusi lämpökamera on voitu kalibroida jo tehtaalla tai maahantuojalla. [1, s. 19; 16, s. 3.]

Kalibroimattomalla lämpökameralla suoritettut kuvaukset ovat hyödyttömiä. Siksi lämpökuvaaajan tulee tarkistaa jokaisen kuvauskerran alussa lämpökameran kalibrointi. Kalibroinnin tarkistuksella varmistetaan, että lämpökameran avulla saadut mittaustulokset ovat varmasti kameran puolesta päteviä. Se miten kameraa käytetään, on taas asia erikseen.

4.3.2 Virhemahdollisuudet

Lämpökameralla kuvattaessa mahdolliset virheet johtuvat pääosin kuvauskulmasta ja kameran asetusten säädöistä. Kuvaus pyritäänkin suorittamaan aina mahdollisimman kohtisuoraan tutkimuksen kohteen pintaa vastaan. Kuvauskulman ollessa alle 30 astetta kohtisuorasta kuvauskulmasta päästään alle 1 °C:n mittaustarkkuuteen. Tätä jyrkemmällä kuvauskulmilla mittaustarkkuus voi heittää jopa yli 2 °C. Yleensäkin kuvauskulman ylittäessä 45 astetta kuvattavan pinnan kohtisuorasta, taustan heijastukset alkavat vaikuttaa merkittävästi mittaustulokseen. [1, s. 20.]

Alhaisen emissiokertoimen omaavat pinnat kasvattavat mittaustulosten virhemahdollisuutta. Virhemahdollisuus kasvaa myös kuvattaessa pintoja, jotka lähettävät niin sanottua tasoheijastusta, esimerkkinä ikkunalasit. Myös kamera-asetukset vaikuttavat mittaustuloksiin. Tästä syystä kuvausta suoritettaessa kamerasetukset on säädettävä kohdetta ja sen hetkisiä olosuhteita vastaaviksi. Mittausasetuksiin syötetään kuvattavan pinnan emissiokerroin, kuvausetaisyys, ympäristön lämpötila, ilman lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus. [1, s. 20–21.]

4.4 Mittausolosuhteet

Valmiita rakenteita ja niiden lämpötekniistä toimintaa tarkasteltaessa lämpökameralla vaaditaan seuraavanlaisia olosuhteita [16, s. 3]:

- 12 tuntia ennen kuvausta ulkoilman lämpötila ei saa poiketa yli ± 10 °C kuvauksen aloittamishetken lämpötilasta.
- 12 tuntia ennen lämpökuvausta ja sen aikana ilman lämpötilaero ulkovaipan yli ei saa alittaa arvoa $3/U$. Lämpötilaero ei kuitenkaan saa olla alle 15 °C.
- 12 tuntia ennen lämpökuvausta ja sen aikana kuvattava rakennusosa ei saa olla alttiina auringolle. Mikäli osa kuitenkin altistuu auringolle, se merkitään raporttiin ja otetaan huomioon tuloksia tulkittaessa.
- Kuvauksen aikana ulkoilman lämpötila saa poiketa enintään ± 5 °C ja sisäilman lämpötila ± 2 °C. Lämpötilapoikkeamaa verrataan kuvaushetken alussa olevaan lämpötilaan.
- Rakennuksen sisätiloissa tulee olla ulkoilmaan nähden lievä alipaine, kuitenkin alle 15 Pascalia. Painovoimaisen ilmanvaihdon omaavissa tiloissa katonraja on yleensä ulkoilmaan nähden ylipaineinen. Kyseinen seikka huomioidaan tuloksia käsiteltäessä.

Edellisten kolmen ensimmäisen kohdan lämpötilaerovaatimusten tasaantumiseen massiivisissa rakenteissa, kuten umpitiilirakenteet, siporex-rakenteet ja betoni-villa-betoni-rakenteet, on poikkeuksena lämpötilan tasaantumisaika 12 tunnin sijasta 24 tuntia. Kuvattaessa valmiita rakenteita tuulen nopeuden tulee olla alle 10 m/s ja ulkoilman

lämpötilan yli paikkakunnan mitoituslämpötilan. Vaipparakenteiden ilmavuotoja selvitellessä kuvaus tapahtuu alipainepuolelta. Lämpökuvaus on mahdollista suorittaa myös kaksivaiheisena. Tällöin ensimmäinen kuvauskerta suoritetaan normaaliolosuhteissa ja toinen siten, että koko rakennuksen vaippa on ulkoilmaan nähden alipaineinen. Ulko- ja sisälämpötilaeron kasvattamiseksi ei suositella sisälämpötilan nostamista. [16, s. 3.]

Rakenteilla olevan rakennuksen laadunvalvonnan yhteydessä tapahtuvalle lämpökuvaukselle ei anneta mitään tiettyjä vaatimuksia. Pääasia kuitenkin on, että mahdolliset lämpötekniset puutteet rakenteissa löydetään ja sitä myöten rakentamisen laatu paranee. [16, s. 13.]

4.5 Valmistelevat toimenpiteet

4.5.1 Kohteessa

Tilattaessa lämpökuvausta suositellaan käytettäväksi käyttäjätiedotetta ja lämpökuvaussopimusta. Tutkimuskohteen käyttäjille ilmoitetaan käytännön- ja lämpökuvauksen kannalta oleelliset tiedot. Kuvattavaan tilaan liittyvät valmistelevat toimenpiteet tehdään 12 tuntia ennen lämpökuvauksen aloittamista. [1, s. 50.]

Seuraavista asioista ilmoitetaan [1, s. 50]:

- Kuvausajankohta, jossa ilmoitetaan päivämäärä ja kellonaika, sekä kuvauksen arvioitu kesto tunnin tarkkuudella.
- Kuvattavan tilan irtokalusteet siirretään pois niiltä ulkoseiniltä, joihin kuvaus kohdistetaan. Kalusteiden ja seinän väliin jätetään metrin levyinen vapaa tila. Kalusteet eivät saa häiritä sisäilman normaalia liikettä.
- Mikäli kuvaus halutaan suorittaa myös ulkoseinillä olevien kiintokalusteiden- ja sokkelitilojen sisäpuolelta, kaapit tyhjennetään, sokkelilevyt irrotetaan ja kaappien ovet aukaistaan.

- Ikkunaverhot poistetaan tai siirretään ikkunoiden keskelle, kuitenkin siten, etteivät ne häiritse lämpökuvauksen suoritusta.
- Tilojen ilmastointi ja lämmitys pidetään normaalilla tasolla vähintään 24 tunnin ajan ennen kuvausta.

Kaikki edellä mainitut toimenpiteet tehdään vähintään 12 tuntia ennen kuvauksen aloittamista, ellei toisin mainittu. Lisäksi sovitaan, miten tiloissa tapahtuva kulku toteutetaan. Olisi hyvä, jos kuvaajan lisäksi rakennuksessa olisi myös tilaajan edustaja, jolloin tiloissa mahdollisesti esiintyvät virhekohdat, kuten likatahrat ja rikkoutuneet huonekalut eivät menisi kuvaajan syyksi ilman silminnäkijää. [1, s. 50.]

4.5.2 Kuvaajan suorittamat valmistelut ja muut mittaukset

Lämpökuvaaja täyttää mittausraporttiin liitteeksi tulevan lämpökuvaajan kenttätyölomakkeen ja selvittää olosuhde- ja kohdetiedot. Tietojen perusteella voidaan tehdä alustava suunnitelma siitä, kuinka lämpökuvaus toteutetaan, mistä se aloitetaan ja mihin seikkoihin kiinnitetään erityistä huomiota. [1, s. 50.]

Olosuhdetiedot

Tiedot tarvitaan ulkoilmaolosuhteista 12–24 tunnin ajalta ennen mittauksia. Olosuhdetietoihin riittää ulkoilman lämpötila, tuulen voimakkuus ja aurinko-olosuhteet. Kohdetietoihin selvitetään ulkoilman lämpötila kuvauksen alussa ja lopussa, mittaamalla ne kuvattavan rakennuksen välittömästä läheisyydestä, auringon paiste kuvauksen alussa ja lopussa, tuulen suunta ja nopeus kuvauksen alussa, sisäilman lämpötila jokaisesta tutkittavasta tilakokonaisuudesta tai lämpöteknisesti erilaisesta tilasta, sekä kohteessa vallitseva painesuhde 1 Pascalin tarkkuudella. [1, s. 50–51.]

Rakennuksen tiedot

Rakennuksen pohjapiirustukset ja rakenneleikkaukset täytyy olla nähtävillä ennen mittauksien aloittamista. Myös tiedot rakennuksen lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmästä mittauksien vaatimalla tarkkuudella. Kuvausta ennen selvitetään myös olemassa olevat rakenteet, kuten

runkotyyppi, alapohjarakenne ja yläpohjarakenne. Lisäksi selvitetään rakennuksen ilmanvaihto-, lämmitys- ja lämmönjakojärjestelmät. Mikäli pohjapiirustuksia ja rakenneleikkauskuvia ei ole saatavilla, selvitetään rakenteet muulla tavoin. [1, s. 51.]

4.6 Lämpökuvauksen toteutus

Pääsääntöisesti lämpökuvaus toteutetaan rakennuksen sisältäpäin. Kuitenkin mahdollisuuksien mukaan voidaan rakennus kuvata myös ulkopuolelta sekä lämmöneristyskerroksen kylmältä puolelta, esimerkiksi ullakolta. Ulkopuolelta kuvattaessa huomioidaan erityisesti edeltäneet sääolosuhteet sekä julkisivuverhouksen tuuletusraon vaikutus. Kohteissa, joissa on tuulettuva alapohja, lattiarakenteet tarkistetaan. [1, s. 52.]

4.6.1 Aloitus

Lämpökameran asetukset säädetään ja tarkastetaan. Myös mittausolosuhteet kirjataan muistiin. Mittausolosuhdetietoihin merkitään [1, s. 52]:

- pinnan emissiokerroin: normaaleilla rakennusmateriaaleilla 0,90–0,95
- kuvausetäisyys
- tutkittavan tilan ilmanlämpötila ja kosteus
- ympäristön lämpötila

Lämpökameran kalibrointi tarkistetaan vertaamalla lämpökameran mittaamaa lämpötilaa pintakosketusanturilla mitattuun saman pisteen lämpötilaan. Raja-arvot kuvausolosuhteiden eri pintalämpötiloille selvitetään. Yleensä muulla kuin oleskeluvyöhykkeellä raportoinnin rajana käytetään indeksiä 70. Pistemäisen pintalämpötilan alimpana sallittuna arvona käytetään indeksiä 61. Pintalämpötiloja raportoidessa sisä- ja ulkolämpötilat pyöristetään 0,5 asteen tarkkuuteen. Kameralla mitattaessa pintalämpötilatiedot kirjautuvat 0,1 asteen tarkkuudella. Rajalämpötilat pyöristetään 0,1 asteen tai 0,5 asteen tarkkuuteen. Lämpökuvia tallennetaan kohdista, joissa epäillään rakenteen lämpötekniistä toimintaa ja kohdista, joissa pintalämpötila ei täytä 70 prosentin lämpötilaindeksiä. Kohdat, joissa havaitaan poikkeuksia, esitetään mittausraportissa niin lämpö-, kuin valokuvina. Kuvauspaikat merkitään numeroin ja nuolin pohjapiirustukseen. [1, s. 52–53.]

4.6.2 Suoritus

Kuvaus toteutetaan noudattaen tietynlaista säännöllisyyttä. Kuvauksen kulku tapahtuu esimerkiksi niin rakennuksen kuin kaikkien kuvattavien tilojen osalta myötäpäivään. Pääasiassa kuvaus kohdistetaan ulkovaippaan, mutta tarpeen vaatiessa myös muita sisäpintoja, kuten välipohjia ja väliseiniä voidaan kuvata. Lämpökuvauksen suoritusjärjestys todetaan yleensä tilanteen mukaan ja edetään olosuhteiden vaatimalla tavalla. [1, s. 53.]

Seuraaviin seikkoihin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota kuvaustilanteessa [1, s. 53]:

- Laajan väripaletin avulla kuvista tulee selkeitä (mustavalkoinen tai sateenkaari).
- Automaattinen lämpötila-alueen skaalaus mahdollistaa pienimpienkin poikkeuksien havainnoinnin.
- Kunkin tilan kuvaus useaan kertaan mahdollistaa tiettyjen seikkojen tutkimisen kullakin kuvauskerralla, eli jokaisen kuvauskerran aikana on mahdollista keskittyä tiettyjen seikkojen tutkimiseen.
- Aluetyökalun käyttö mahdollistaa sisäpuolen kuvauksen aikana minimilämpötilojen mittaamisen ja ulkopuolelta kuvatessa maksimilämpötilojen mittaamisen.
- Pistemittaustyökalun käyttö koko kuvauksen läpiviemisen ajan ja sillä saatujen pintalämpötila-arvojen vertaaminen ilman vallitsevaan lämpötilaan mahdollistaa kameran mittausvirheiden arvioinnin koko lämpökuvauksen ajan.
- Hyvä kuvausetäisyys sisällä on 2–4 m ja ulkona alle 10 m.
- Hyvä vertailukohde ikkunapintojen lämpötilojen määrittämisessä on ikkunaan pystysuuntaan kiinnitetty musta teippi.
- Auringonpaiste voi vaikuttaa mittaustuloksiin.
- Kuvauskulman muutos eliminoi heijastusten vaikutukset.

- Ylimääräiset lämmönlähteet, kuten hehkulamput ja lämpöpatterit voivat haitata tarkan mittaustuloksen aikaansaamista.

Kuvatessa tulee huomioida erityisesti seuraavat kohdat [1, s. 54]:

- karmit ja ikkunarakenteet
- lattian ja ulkoseinien, sekä välipohjien ja ulkoseinien liitokset
- venttiilit ja läpiviennit
- lattian, ulkoseinien ja katon liitokset
- kosteiden tilojen ulkoseinien liitokset

Liian materiaalin tallettamista kannattaa välttää, sillä kuvien jälkikäsittely ja analysointi vie muutenkin suurimman osan ajasta. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että joitakin rakenteita voitaisiin jättää mittaamatta. [1, s. 54.]

Julkisivu

Julkisivun kuvaus voidaan suorittaa sekä sisä- että ulkopuolelta. On todennäköistä, että tuuletetun julkisivun ulkopinnan lämpötila on hyvin tasainen ja likipitään sama kuin ulkolämpötila. Ulkopuolinen kuvaus on kuitenkin syytä tehdä aina kun mahdollista, sillä se mahdollistaa yläpohjavuotojen ja -eristepuutteiden havainnoinnin. Lisäksi voidaan havaita mahdollinen ilmastointijärjestelmän epätasapaino ja ilmavuotojen aiheuttamat muutokset pintalämpötiloissa. Heijastavien pintojen, kuten ikkunoiden ja peltipintojen pintalämpötiloihin on suhtauduttava pienellä varauksella. [1, s. 54.]

Alapohja

Alapohja kuvataan pääsääntöisesti rakenteen päältä, eli sisäpuolelta rakennusta. Tuulettuva alapohja voidaan lisäksi kuvata myös tuulettutilan puolelta. Lattianrajassa vallitsee lähes aina alipaine, joten ilmavuotojen paikannus onnistuu sisäpuolelta. Ilmavuodoista tulee aina raportoida, sillä mahdolliset radonkaasut voivat tunkeutua sisäilmaan vuotoreittejä pitkin. Lattian ja perustusten liitoskohdissa on usein kylmäsiltoja, joiden paikannus onnistuu usein jo rakennekuvista. Maanvaraisten alapohjien kosteusvaurioita voi olla hankala paikantaa lämpökuvauksen avulla, sillä maapohjan ja sisäilman lämpötila eroavat yleensä vain

muutaman asteen ja näin ollen alapohjan pintalämpötilaerot voivat kosteusvauriotilanteessakin olla hyvin pieniä. Ilmavuodot perustusten ja ulkoseinien liitoskohdissa, täytön vajoaminen ja kasaan painuneet eristeet aiheuttavat usein kanavoitunutta virtausta, joka jäähdyyttää lattiarakennetta. [1, s. 55.]

Yläpohja

Ilmavuotojen paikantamisen mahdollistamiseksi rakennuksen painesuhteet otetaan huomioon yläpohjia kuvattaessa. Oletetaan että rakennuksissa, joissa ei ole koneellista ilmanvaihtoa, vallitsee katonrajassa ylipaine. Tästä johtuen ilmavuodot kuvataan ullakolta tai muutoin kylmemmältä puolelta. Yläpohjan ja ulkoseinän liittymäkohta räystään alla näyttää yleensä muuta seinärakennetta lämpimämmältä. Kyseinen seikka johtuu osittain siitä, että räystäs varjostaa liitoskohdan alueen ja näin ollen suojaa sitä taustalämpötilalta. Jos rakennuksen toisen puolen vastaava paikka on kylmempi, epäillään läpivirtausta. Liitoskohdan epätasainen lämpötilajakauma on merkki ullakolle vuotavasta lämmöstä. [1, s. 56.]

Vesikatto

Vesikatto- ja julkisivurakenteet kuvataan rakennuksen ulkopuolelta. Tämä mahdollistaa vesivuotojen ja eristevikojen havainnoinnin. Lämpökuvaus soveltuu parhaiten tasakattojen kuvaukseen. Kattojen, joiden päällä on singelikerros, kuvaustulosten tulkinta on hankalaa. Läpivientien toimivuuden selvittäminen kuitenkin onnistuu. Katossa olevat kosteat alueet erottuvat muusta ympäristöstä, joko lämpimämpänä tai kylmempänä, joten mahdollisten kosteusvaurioidenkin paikantaminen joissakin tapauksissa lämpökameran avulla on mahdollista. [1, s. 56–57.]

4.7 Mittaustulosten tulkinta

Yksikään rakenne ei ole tasalämpöinen ja kaikki mittauksissa havaitut epäsäännöllisyydet pintalämpötiloissa eivät tarkoita sitä, että eristeissä tai rakenteissa olisi juuri niillä kohdin virheitä tai puutteita. Katselukulma ja eri materiaalien pintojen emissiokerrointen vaihtelut voivat johtaa tulosten virheelliseen tulkintaan. Asuinrakennusten lämpökuvia tulkittaessa

suurin haaste on matalimman, kuitenkin hyväksyttävän pintalämpötilan määrittäminen. [19, s. 272–273.]

Mittaustulosten tulkinta tapahtuu viranomaisten määrittämien vaatimusten mukaan. Suomen rakentamismääräyskokoelman määräykset ja ohjeet asettavat vaatimuksia rakenteiden toiminnalle. Lämpöoloille annetaan tavoitearvoja suunnittelun yhteyteen. Varsinaisia luku- tai raja-arvoja sallituille pintalämpötiloille ei ole. Oleskelutiloille terveyteen liittyviä ohjeita antaa Sosiaali- ja terveysministeriön laatima Asumisterveysohje RT STM-21232. Myös RT- ja LVI-ohjekorttien ohjeita lämpöoloista käytetään apuna tulosten tulkinnassa. [16, s. 5.]

Terveydelliset ohjearvot antavat rakennuksen kunnolle niin sanotun vähimmäistason. Rakennusvirheisiin ohjeet eivät sinänsä ota kantaa. Asumisterveysohjeessa ilmoitetut pintalämpötilojen ohjearvot sopivat mainiosti käytettäväksi raja-arvoina tulosten tulkinnassa. Perusidea on, että rakennuksen sisäilmasta ei rakenteiden sisäpinnoille tiivisty kosteutta. Pintalämpötilan tulee siis aina olla yli kastepistelämpötilan. Ohjeen mukaan tyydyttävällä tasolla asuinhuoneen alin pintalämpötila saa olla +11 °C. Lämpötilaindeksinä tämä vastaa arvoa 61 % ja kastepistelämpötilaa sisäilman lämpötilan ollessa +21 °C ja suhteellisen kosteuden 50 %. Sisä- ja ulkolämpötilojen ollessa +21 °C ja -5 °C sekä tuulen nopeuden 5–10 m/s voidaan ohjeen pintalämpötila-arvoja käyttää sellaisenaan. [18, s. 5.]

Rakennuksessa olevien liitoskohtien ja nurkkien lämpötilojen likiarvot normaalitilanteessa voidaan periaatteessa määrittää pintalämpötila-arvioilla sisä- ja ulkolämpötilojen erotuksen avulla. Kun kyseinen erotus kerrotaan rakenteesta riippuvalla kertoimella ja vähennetään saatu tulos sisäilman lämpötilasta, saadaan kyseessä olevan rakenteen tyypillinen lämpötila sisä- ja ulkoilman erotuksen funktiona. Käytännössä kuitenkin vertailukohteena tulisi olla vastaavanlaisen rakenteen hyvin toteutetun version pintalämpötilat. Pintalämpötiloja arvioidaan myös lämpötilaindeksin avulla. [19, s. 273.]

Pintalämpötilaindeksin suuntaa antavia arvoja [19, s. 273]:

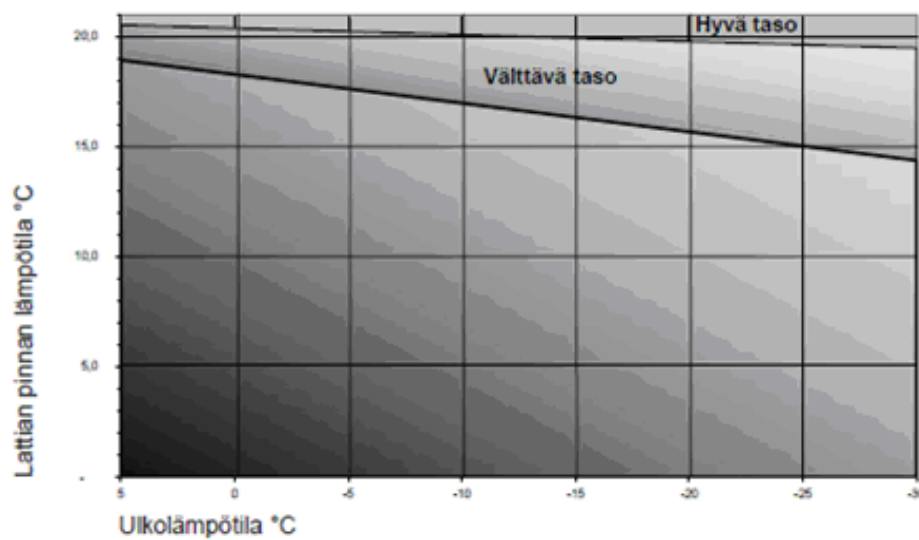
TI < 60 %, terveysriski

TI = 60–65 %, todennäköinen rakennevirhe, terveyshaitta on mahdollinen, joten rakenne tarkistettava

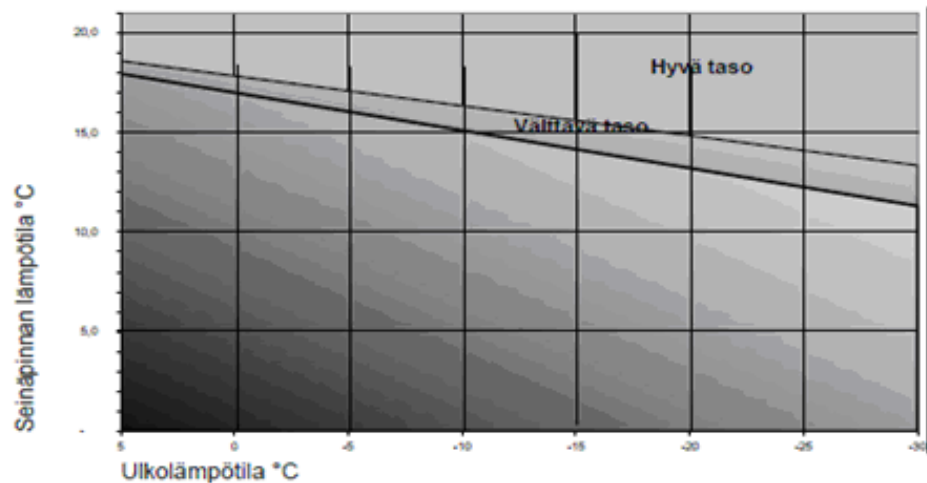
TI = 65–75 %, rakenteissa on puutteita tai virheitä

TI > 75 %, normaali, terve rakenne

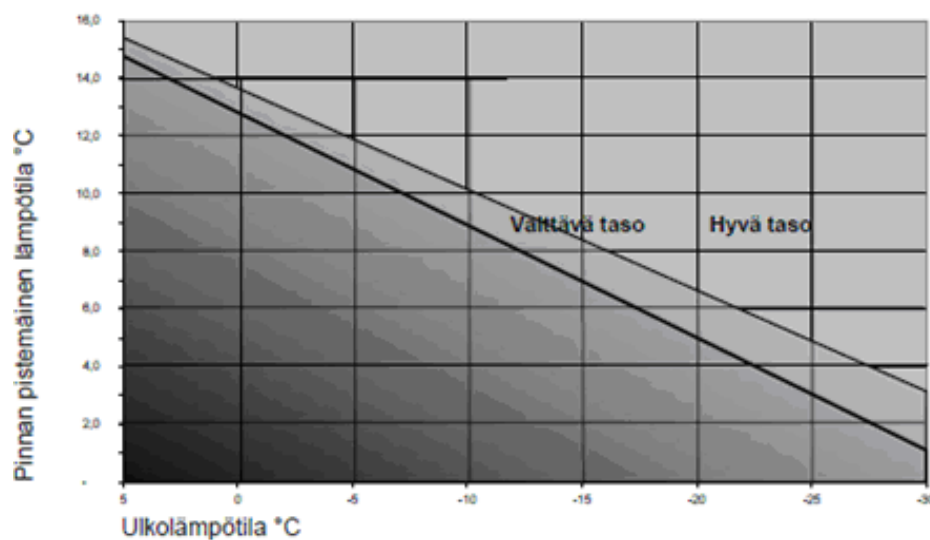
Kuvissa 24–26 esitetään asuintilan sisäpinnoille määritettyjä ohjeellisia pintalämpötila-arvoja. Kuvista selviää hyvä ja välttävä lämpötilataso kullekin eri sisäpinnalle, eri ulkoilmalämpötilojen mukaan, sisäilman lämpötilan ollessa 21 °C.



Kuva 23. Asuintilan lattian lämpötilan ohjearvot, kun sisätilan lämpötila on 21 °C [16, s. 6]



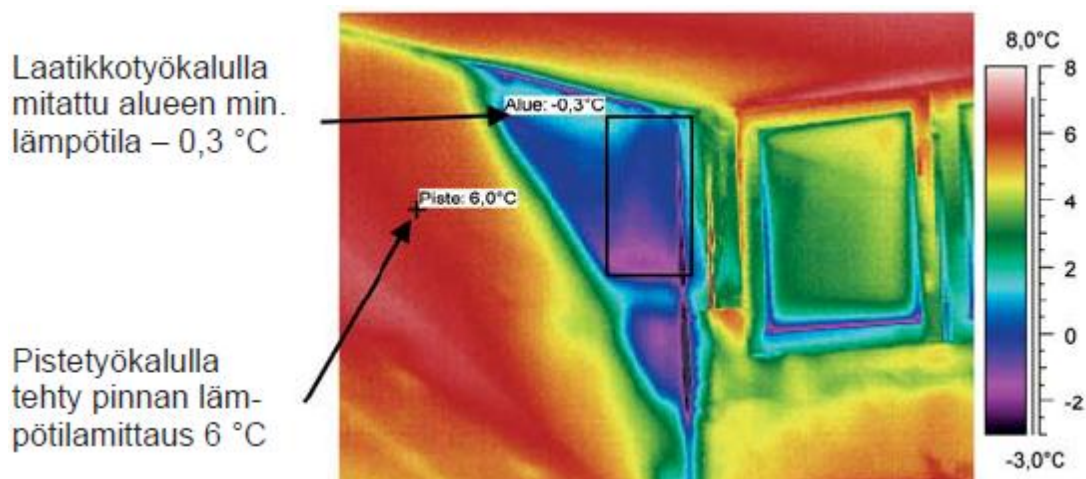
Kuva 24. Asuintilan seinän lämpötilän ohjearvot, kun sisälämpötilä on 21 °C [16, s. 6]



Kuva 25. Asuintilan pinnan pistemäisen lämpötilän ohjearvot, kun sisälämpötilä on 21 °C [16, s. 6]

4.7.1 Lämpökuvien lukeminen

Kuvan 27 oikeassa reunassa oleva väripalkki lämpötila-asteikkoineen esittää kohteen pinnan lämpötilajakaumaa ja kuvaa värien sekä pintalämpötilojen yhteyden. Kyseisen väriasteikon ylin lämpötila on +8 °C ja alin -3 °C. Kuvan keskellä esiintyy laatikkotyökalu, jonka sisältämän alueen minimilämpötila näkyy kuvassa (-3 °C). Kuvan vasemmassa reunassa on pistetyökalu. Kyseisen pisteen pintalämpötila näkyy olevan +6 °C. Kameramallista riippuen myös muunlaisia työkaluja on käytettävissä. [18, s. 5.]



Kuva 26. Eristevika ullakkohuoneen ulokkeen seinässä [18, s. 5]

4.7.2 Raportoitavat poikkeamat

Lämpökuvaajan on raportoitava jokaisesta selkeästä, lämpökuvauksen yhteydessä havaitusta poikkeamasta, jotka olennaisesti vaikuttavat rakennuksen lämpöviihtyvyyteen, rakenteiden vaurioitumiseen, pitkäaikaiskestävyyteen sekä rakenteiden tai rakennuksen toimintaan. Raportoinnin yhteydessä kuvaajan on esitettävä lisätutkimuksia tai kyseisten vaurioiden korjaamista. [16, s. 5.]

Muun muassa seuraavista poikkeamista raportoidaan [16, s. 5]:

- virheet eristyksessä, esimerkiksi eristeiden puuttuminen
- vuodot ilmansulussa
- pintalämpötilojen suuret poikkeamat
- ilmavuodot sisältä rakenteisiin päin
- ilmavuodot sisätiloihin, muun muassa epäpuhtauksien kulkeutuminen
- vetoa aiheuttavat kylmät sisäpinnat
- kosteusvaurioepäilyt
- puutteet tai viat talotekniikassa

Normaalin sisältäpäin tehdyn lämpökuvauksen yhteydessä poikkeamista lasketaan lämpötilaindeksi helpottamaan tulosten tulkintaa. Poikkeamista, eli kohdista joissa lämpötilaindeksi on alle 70 %, tehdään korjausluokitusarvio, mikäli tilaajan kanssa näin

sovitaan. Seuraava taulukko osoittaa, kuinka lämpöindeksi vaikuttaa korjaustarpeeseen. [16, s. 5.]

Taulukko 3. Lasketun lämpöindeksin vaikutus korjaustarpeeseen [16, s. 5]

Lämpöindeksi (TI) %	Korjaustarve
0–60	välitön korjaustarve
61–69	korjaustarve harkitaan erikseen
70–100	ei korjaustarvetta

4.7.3 Korjausluokitus

Raportissa korjaustarve esitetään korjausluokituksen avulla. Korjausluokitusta arvioitaessa huomioidaan tilan käyttötarkoitus, poikkeaman sijainti ja laajuus. Sopimusperusteiset kriteerit, jotka vaikuttavat rakennuksen rakentamiseen tai käyttöön, vaikuttavat olennaisesti myös korjausluokitukseen. Tällaisia kriteereitä ovat esimerkiksi sisäilmaluokitusten vaatimukset. [16, s. 5.]

- Korjausluokka 1 = pisteen lämpöindeksi 0–60, eli korjaustarve on välitön. Kyseessä voi olla esimerkiksi ilmavuoto, eristevika tai kosteusvaurio.
- Korjausluokka 2 = pisteen lämpöindeksi 61–65, joka ilmenee usein vedontunteena, jolloin kohde vaatii korjausta. Muutoin korjaustarve harkitaan erikseen.
- Korjausluokka 3 = pisteen lämpöindeksi 66–69, joka on välttävä taso. Korjaustarve ei ole välitön, ellei tilan käyttö sitä vaadi.
- Korjausluokka 4 = pisteen lämpöindeksi 70–100, joka on hyvä taso. Tällöin korjaustarvetta ei ole.

4.8 Raportit

Lämpökuvauksen tulokset esitetään raportein. Tulosten esittäminen perustuu jonkin tutkittavan rakennusosan, rakennuksen ulkovaipan osan tai koko rakennuksen lämpötekni- sen toimivuuden arviointiin. Lämpötekni- sen toimivuuden arvio perustuu pintalämpötilajakaumiin sekä pintalämpötietoihin. Raporttiin merkitään tiedot niistä ulkovaipan rakennusosista ja kohdista, joissa havaitaan poikkeamia. Saaduista kuvaustuloksista laaditaan lämpökuvausraportti. Useimmiten lämpökuvausraporttiin liitteeksi laaditaan mittausraportti. Lämpökuvaaja laatii raportit ottaen kantaa mittauksissa ilmenneisiin puutteisiin. Myös lämpötekni- sestä oikein toimivat rakenteet voidaan raportissa esittää. [18, s. 7.]

4.8.1 Mittausraportti

Mittausraportissa esitetään tehdyt mittaukset ja saadut tulokset. Raportin tulee sisältää tarvittavat tiedot mittaustulosten myöhempää tarkastelua varten. Samassa kohteessa otettujen lämpökuvien lämpötila-asteikko rajataan joka kuvassa yhdenmukaiseksi (esim. 10 °C–20 °C) aina mikäli mahdollista. Sisäpuolelta otettujen kuvien asteikon alarajana käytetään lämpötilaa, joka vastaa pintalämpötilaindeksiä 61 % – 70 % ja ylärajana vallitsevaa sisäilman lämpötilaa tai sen yläpuolella lähinnä olevaa pintalämpötilaa 5 °C: n välein. [18, s. 7.]

Mittausraportin sisältö [18, s. 7]:

- tekijä yhteystietoineen
- kohteen tiedot: nimi, sijainti ja valmistumisvuosi
- aika ja paikka, jossa kuvaus on suoritettu
- lämpökuvat, valokuvat ja lämpötilamittaustiedot
- mittauskaluston tyyppi, malli ja sarjanumero
- kuvausasetukset: kuvausetaisyys, emissiivisyys sekä ilman- ja taustan lämpötilat
- kirjallinen yhteenveto (lyhyt)
- kuvausten aikana vallinneet olosuhteet (ulkovaipan sisäpuolisiin mittauksiin)
- lasketut lämpötilaindeksit (ulkovaipan sisäpuolisiin mittauksiin)
- korjausluokitus (ulkovaipan sisäpuolisiin mittauksiin)

4.8.2 Lämpökuvausraportti

Lämpökuvausraportti on rakenteiden lämpöteknisen kunnon tutkimusraportti. Siinä esitetään tuloksia tutkimuskohteen lämpöteknisen kokonaisuuden tarkastelusta. Tarpeen mukaan raportti sisältää myös korjausluokituksen, korjausehdotukset ja mahdolliset ehdotukset jatkotoimenpiteistä. [18, s. 7.]

5 ESIMERKKIKOHTTEEN ILMATIIVIYSMITTAUS JA LÄMPÖKUVAUS

Esimerkkikohteena on Kajaanin Laajankankaalla sijaitseva vuonna 1978 valmistunut noin 90 m²: n omakotitalo. Kyseisen omakotitalon rakennusvaipan tiiveydestä ei ollut ennen mittauksia minkäänlaista dokumenttia. Olikin mielenkiintoista suorittaa mittaukset jo useamman vuosikymmenen käytössä olleeseen rakennukseen ja verrata saatuja mittaustuloksia arvoihin, joita nykyajan rakennuksilta vaaditaan. Vaikka kohde onkin hieman iäkkäämpi, tapahtuu siihenkin tiiviysmittaus ja lämpökuvaus samalla kaavalla kuin rakenteilla olevaan tai vasta valmistuneeseen rakennukseen.

Ennen toimenpiteitä otettiin selvää rakennuksen perustiedoista, laskettiin ilmatilavuus, vaipan ala, sekä vikalämpötila-arvio. Rakennuksen kaikki ilmaventtiilit ja muut aukot, joista ilma pääsee kulkemaan rakennuksen ulkovaipan yli, tukittiin huolellisesti. Kun tarvittavat alkujärjestelyt oli tehty, aloitettiin toimenpiteet lämpökuvauksella.

Kuvauksen alussa lämpökameraan syötettiin tarvittavat olosuhde- ja lähtötiedot. Lämpökuvaus suoritettiin rakennuksen sisäpuolelta käsin aluksi luonnollisessa ilmanpaineessa ja sen jälkeen 50 Pa:n alipaineessa. Kuvauksessa edettiin myötäpäivään kiertäen rakennuksen kaikki huoneet. Lämpökuvia tallennettiin kohdista, joissa pisteen lämpöindeksi jäi alle 70 prosentin, joka vastaa lämpötilaa 11 °C. Käytännössä kyseisen 70 prosentin alle jäävät kohdat löytyivät ikkunoiden ja ulko-ovien ympäriltä, joissa korvausilmaa tuli rakennukseen sisään kuluneen tai puuttuvan tiivisteiden tai puutteellisesti tiivistetyn alajuoksun johdosta. Mitään erityisen kiireellistä korjausta vaativaa kohtaa rakennuksesta ei löytynyt. Kiireellistä korjausta vaativalla kohdalla tarkoitan esimerkiksi vikaa rakenteessa, joka vaikuttaisi merkittävällä tavalla rakenteen, rakennusosan tai kokonaisuudessaan rakennuksen pahaan vaurioitumiseen, mikäli kohtaa ei korjattaisi.

Kuvauksen jälkeen suoritettiin ilmatiiviysmittaus. Mittauskalusto asennettiin valmiuteen, jonka jälkeen mittausohjelmaan syötettiin tarvittavat tiedot rakennuksesta ja vallitsevista sääolosuhteista. Kaikki rakennuksessa olevat väliovet avattiin, jotta ilma pääsi kulkemaan vapaasti rakennuksen sisällä. Aluksi mitattiin lähtöpaine-ero, jolloin puhallin ei ollut vielä päällä. Sen jälkeen rakennukseen ajettiin alipaine mitaten puhaltimen läpäisemä ilmavirta viidellä eri paine-erolla. Mittaussarjasta ohjelma piirsi ilmavuotokäyrän, jonka jälkeen

mitattiin vielä loppupaine-ero. Rakennuksen ilmavuotoluvuksi saatiin 5,6 l/h, jonka oletan olevan hyvinkin tyypillinen näinkin vanhalle rakennukselle, jossa ilmanvaihto toimii painovoimaisesti, korvausilmaa puskee ovista ja ikkunoista, eikä rakennusaikana ilmatiiviyteen ole juurikaan huomiota kiinnitetty.

Toimenpiteet esitetään tarkemmin opinnäytetyön lopussa liitteinä olevissa tiiviysmittaus- ja lämpökuvausraporteissa (liitteet 1 ja 2). Siellä esitetään kaikki mittauksiin oleellisesti liittyvät tiedot sekä tulokset kuvin ja kommentein.

6 POHDINTA JA TULOSTEN TARKASTELU

Rakennukselle vaippa on yhtä tärkeä kuin iho ihmiselle. Sen täytyy toimia oikein, jotta sen sisällä on hyvä elää. Tästä syystä jo rakennuksen suunnitteluvaiheesta saakka on kiinnitettävä erityistä huomiota rakenteiden toteutustapaan, jotta niistä saataisiin koottua mahdollisimman oikein toimiva rakennuskokonaisuus. Näin ollen rakennusaikaisen valvonnan merkitys korostuu oleellisesti luotaessa tämän päivän huipputiiviitä rakennuksia.

Toteutettaessa rakennuksille tiiviitä ulkokuoria niiden oikeanlaisen kosteusteknisen toimivuuden varmistaminen on entistä tärkeämpää. Eihän vesikään pääse haihtumaan pullosta, jossa korkki on kiinni. Kun rakennuksessa ilma kulkee ainoastaan sen kulkemiselle tarkoitettuja reittejä pitkin, energiatehokkuus, asumismukavuus ja asumisterveys paranevat merkittävästi. Olisihan rakennuksen tilaajankin kannalta ikävää, mikäli pari vuotta talon rakentamisen jälkeen alkaisi asuminen käydä rakennuksen homevauriosta johtuen terveyden päälle.

Rakennusten ilmatiiviysmittauksen ja lämpökamerakuvauksen avulla saadaan osoitettua rakennusvaipan tiiveys ja paikannettua vuodot hyvissä ajoin, jolloin rakentamisen laadunvalvontaa saadaan tehostettua jo rakentamisaikana. Jo käytössä olevien rakennusten kohdalla voidaan lämpökameran avulla paikantaa esimerkiksi rakennusvaipassa olevia vuotokohtia ja näin ollen kohdistaa korjaustoimenpiteet kerralla oikeaan paikkaan. Tämä vähentää ulkoilmasta sisään puskevien epäpuhtauksien määrää rakennuksen sisällä. Näin vedontunteen ja kylmien sisäpintojen aiheuttaja saadaan myös eliminoitua. Rakennusvaipassa olevien vuotokohtien oikeaoppinen paikkaaminen on myös hyvin oleellinen osa minimoitaessa rakennuksen lämmitysenergiankulutusta.

Toiset ajattelevat, että lämpökuvauksesta saatu hyöty on mitätön, varsinkin silloin, kun se tehdään jo pidempään käytössä olleeseen rakennukseen eikä rakennuksesta löydy mitään vikaa toimenpiteen perusteella. Sitten kun vika löytyykin, toimenpiteen tilaaja syyttää kuvauksen tekijää ammattitaidottomuudesta ja lyttää toimenpiteen kannattavuuden maanrakoon. Mielestäni kyseinen ajattelutapa ja syyttely on turhaa ja jokseenkin kieroutunutta. Toimenpiteistä saadut raportithan osoittavat rakennusvaipan kunnan esimerkiksi rakennusta myyessä tai rakennuksen korjausta ajatellen.

Vaikka tiiviysmittaajilta ja lämpökuvaajilta ei viranomaisten puolelta vaaditakaan mitään tiettyä koulutusta, on kuitenkin hyvä, että pätevyys osoitetaan henkilösertifiointin avulla. Näin ollen toimenpiteistä saadut tulokset ja niistä tehdyt johtopäätökset ovat mitä todennäköisimmin luotettavia ja niiden perusteella toimenpiteisiin on helpompi ryhtyä. Toimenpiteiden tekijällähän tulee aina olla todistus, jolla pätevyys voidaan osoittaa.

Tässä insinöörityössä esimerkkikohteena toiminut vuonna 1978 rakennettu omakotitalo osoitti hyvin, kuinka rakennuksen ilmatiiviyden huomioiminen jo rakennuksen suunnitteluvaiheesta lähtien on tärkeää toteutettaessa energiatehokkaita ja ilmatiiviitä rakennuksia. Väljempien säädösten aikaan näihin seikkoihin ei ole juurikaan kiinnitetty huomiota, joten eihän sen ajan rakennukselta voi sen enempää vaatiakaan. Rakennus toimii kuitenkin kosteusteknisesti oikein ja näin ollen kosteus- tai homevauriopelkoa ei ole. Kohteen ovien ja ikkunoiden tiivisteet tulisi mielestäni pääosin uusia. Jo niin pieni toimenpide vaikuttaisi oleellisesti rakennuksen lämpöhävikkiin ja nostaisi asumismukavuuden paremmalle tasolle. Pääosin kohteen rakennusvaippa oli mielestäni yllättävänkin tiivis eikä mitään merkittävää vuotokohtaa muutoin ollut havaittavissa.

Oli mielenkiintoista tehdä toimenpiteet käytännössä ja nähdä, kuinka vanhempi omakotitalo pärjää uusille ilmatiiveydessä, vaikkakin käytännössä lähtökohdiltaankaan ne eivät ole samalla viivalla. Oli mielenkiintoista huomata erinäisten tekijöiden vaikutus mittauksen toteutukseen ja kokea, kuinka yksinkertaisista toimenpiteistä olikaan kyse.

7 YHTEENVETO

Ilmatäiviyysmittauksen avulla paikannetaan rakennusvaipan ilmavuotoja. Uudisrakennusten osalta mittauksia tehdään laadunvalvontamittausten yhteydessä. Rakennusaikana suoritettut mittaukset ovat oleellinen osa laadunvalvontaprosessia, mutta lopullinen ilmavuotoluku rakennukselle saadaan vasta täysin valmiista rakennuksesta. Käytössä olevien rakennusten osalta täiviyysmittauksia tehdään, kun arvioidaan epäpuhtauksien kulkeutumista rakennuksessa ja ilmavuotoreittejä paikannettaessa. Täiviyysmittauksen tuloksena saatua ilmavuotolukua tarvitaan rakennuksen lämmöntarpeen laskennassa. Rakennuksen lämmöntarpeen tarkastelu on ajankohtainen muun muassa uuden rakennuksen vastaanoton yhteydessä tarkistettaessa energiatodistuksen paikkansäpitävyyttä. Käytössä olevan rakennuksen osalta lämmöntarvetta tarkastellaan esimerkiksi laadittaessa energiatodistusta.

Lämpökuvauksen avulla tarkastellaan rakennuksen lämpötekniistä kuntoa rakenteita rikkomatta. Sitä käytetään apuna muun muassa rakennusaikaisen laadunvalvonnan yhteydessä. Olipa kyseessä rakenteilla oleva tai jo valmis rakennus, lämpökameran avulla rakennuksen kunnan tarkastelu tapahtuu samalla tavalla. Lämpökameralla voidaan osoittaa myös häiriöt LVIS-laitteissa sekä paikantaa rakennuksessa ja rakenteissa mahdollisesti esiintyviä ilmavirtausreittejä ja kosteusvaurioita.

Rakennusten lämmönhukasta erittäin suuri osa, jopa 50 prosenttia, johtuu rakennusvaipassa ilmenevistä hallitsemattomista vuodoista. Kyseisten mittausten avulla vuodot saadaan minimoitua ja näin ollen asumismukavuus, asumisterveys ja rakennusten energiatehokkuus paranevat. Rakentamissäädökset ovat tiukentuneet vuosien saatossa ja täten rakennusaikaisen valvonnan merkitys korostuu koko ajan. Ilmatäiviyysmittaus ja lämpökuvaus ovat oleellinen osa tätä kyseistä laadunvalvontaa.

Mittaustoimenpiteitä tekevät henkilöt osoittavat pätevyytensä sertifiointin avulla. Täten varmistutaan siitä, että mittauksista saadut tulokset ovat luotettavia ja niiden perusteella toimenpiteisiin ryhtyminen on helpompaa.

Esimerkkikohteeseen tehtyt mittaukset havainnollistivat hyvin sen, kuinka suuri merkitys rakennuksen täiviyteen ja energiankulutukseen on sillä, kuinka paljon rakennuksen

ilmatiiviyteen kiinnitetään huomiota rakennuksen suunnittelu- ja toteutusvaiheessa, sekä rakennusaikaisessa valvonnassa.

LÄHTEET

- 1 Paloniitty, Sauli. & Kauppinen, Timo, Rakennusten lämpökuvaus, Helsinki: Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy, 2006
- 2 Paloniitty, Sauli, Rakennusten tiiviysmittaus, Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy. 2012
- 3 Suomen rakennusmääräyskokoelma, Rakennusten energiatehokkuus - määräykset ja ohjeet D3 RT RakMK- 21504, Helsinki: Rakennustietosäätiö, 2011
- 4 Turunen, Mervi. & Heikkonen, Heikki, Ilmatiiviyden rooli rakentamisessa korostuu. Rakennuslehti 22/2012, 16
- 5 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje RT 80-10974, Helsinki: Rakennustietosäätiö, 2009
- 6 Paloniitty, Sauli, Tiiviysmittaus-koulutusdiat, Hämeen ammattikorkeakoulu. [WWW-dokumentti] <<http://paloniitty.fi/files/Tiiviysmittaus%20koulutusdiat.pdf>> (Luettu 15.6.2012)
- 7 Hill, Mark, Ilmanvaihtoa vai ilman vuotoa? Rakennustaito 3/2007, 24
- 8 Jussila, Heikki, Lämpökuvaus paljastaa kodin vuodot. Hyvä puhtaus 1/2012, 19
- 9 Kupiainen, Jari, Huolellisella työllä ja suunnittelulla tiivis talo. TM Rakennusmaailma 8/2009, 24
- 10 Pientalojen energiatehokkuuden asiantuntijayritys Vertia. [WWW-dokumentti] <<http://www.vertia.fi/tiiveysmittaus/ilmanvuotoluku>> (Luettu 15.6.2012)
- 11 Ulkoinen konvektio – kun rakennuksen vaippa vuotaa, Tiivistalo, [WWW-dokumentti]<<http://www.tiivistalo.fi/system/default.asp?=-kosteusvauriot%20ja%20niiden%torjuminen>> (Luettu 26.6.2012)

- 12 Paloniitty, Sauli, Rakennuksen tiiviysmittaus, [WWW-dokumentti] <<http://paloniitty.fi/files/0%20Johdanto%20Rakennuksen%20ilmatiiiviyden%20mittaus%20%20versio%201.pdf>> (Luettu 20.6.2012)
- 13 Paloniitty, Sauli, Rakennusten tiiviysmittaus mittalaitteet, [WWW-dokumentti] <<http://paloniitty.fi/files/Rakennusten%20tiiviysmittaus%20laitteet.pdf>> (Luettu 26.6.2012)
- 14 Paloniitty, Sauli, Tiiviysmittauksen tekeminen, [WWW-dokumentti] <<http://www.paloniitty.fi/page.php?sivu=49>> (Luettu 26.6.2012)
- 15 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeenlaskenta ohjeet D5 RT RakMk-21360, Helsinki: Rakennustietosäätiö, 2007
- 16 Suomen rakentamismääräyskokoelma, Rakennuksen lämpökuvaus - rakenteiden lämpötekniinen toimivuus RT 14-10850, Helsinki: Rakennustietosäätiö, 2005
- 17 Kihl, Merja, Lämpökuvaus paljastaa kiinteistön ongelmakohdat. Ympäristö ja terveys 7-8/2007, 79
- 18 Rakennuksen lämpökuvaus - suunnitteluohje Ratu 1213-S, Helsinki: Rakennusteollisuus RT ry ja Rakennustietosäätiö, 2005
- 19 Kauppinen, Timo; Paloniitty, Sauli & Krankka, Juha, Lämpökuvauksen käyttö rakennusten ja rakenteiden lämpötekniisen toiminnan selvittämisessä, julkaisussa Rakennusfysiikka 2007 – Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut, Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto, 272–273

TIIVIYSMITTAUSRAPORTTI

Mustikkatie 3 87500 Kajaani



n50-luku 5,6 1/h

TIIVIYSMITTAUSLUOKITUS

Alle 0,6	A
0,7-1,0	B
1,1-1,5	C
1,6-2,0	D
2,1-3,0	E
3,1-4,0	F
Yli 4,1	G

Aleksi Oikarinen

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Raportointipäivämäärä 9.1.2013

SISÄLLYS

ILMANVUOTOLUVUN OHJEARVOJA	3
1 KOHTEEN YLEISTIEDOT	4
1.1 Rakennuksen tunnist- ja laajuustiedot	4
1.2 Rakennuksen vaipan rakenne	4
1.3 Tutkimuksen tilaaja	5
1.4 Tutkimuksen tavoite	5
1.5 Tutkimuksen tekijä	5
2 LÄHTÖARVOT	6
2.1 Ulko- ja sisäilman olosuhteet 5.12.2012	6
2.2 Tiivysmittauksen kattavuus	7
2.3 Käytetyt mittalaitteet ja koejärjestelyt	8
2.4 Rakennuksen pinta-alojen ja tilavuuksien laskenta	9
3 TULOKSET	10
3.1 Mittaustulokset	10
3.2 Tulos ja sen arviointi	10
LIITTEET	11
Pohjakuva	11
Asemakuva	12
Leikkauskuvat	13
Julkisivukuvat	16
Mittauspöytäkirja	17

ILMANVUOTOLUVUN OHJEARVOJA

Pientalojen ohjeellisia ilmavuotolukuja esitetään taulukossa 1.

Taulukko 4. Erilaisten pientalojen ohjeellisia ilmanvuotoluvun arvoja.

	Normitalo RakMk C3, määräys 2010	Matalaenergiatalo M-50	Passiivitalo P-25
Rakennusvaipan ilmanvuotoluku n50 (1/h)	≤ 2	$\leq 0,8$	$\leq 0,6$

Ilmanvuotoluku vaikuttaa merkittävästi rakennuksen energiankulutukseen. Näin ollen ilmanvuotoluvun kasvaessa energiankulutuskin kasvaa. Taulukossa 2 esitetään ilmanvuotoluvun prosentuaalinen vaikutus pientalon lämmitystarpeeseen.

Taulukko 2. Ilmanvuotoluvun prosentuaalinen vaikutus pientalon lämmitystarpeeseen

Ilmanvuotoluku	Tiiviys	Energiansäästö
$< 0,6$	passiivi	$> 25 \%$
< 1	kiitettävä (suositusarvo)	$> 21 \%$
1–2	erittäin hyvä	14–21 %
2–3	hyvä	7–14 %
3–4	tydyttävä	0–7 %
4	vaatimustaso	0 %
> 4	huono	energiantarve kasvaa

1 KOHTEEN YLEISTIEDOT

1.1 Rakennuksen tunniste- ja laajuustiedot

Osoite: Mustikkatie 3, 87500 Kajaani

Valmistumisvuosi: 1978

Rakennuksen ilmatilavuus: 266 m³

Rakennuksen sisävaipan pinta-ala: 316 m²

Bruttoala: 120 m²

Kerrosala: 120 m²

Huoneistoala: 90 m²

1.2 Rakennuksen vaipan rakenne

Yläpohja:

- mineraalivilla tuulensuojamatto 50mm
- mineraalivilla 2 x 100 mm + alapaart.
- muovipaperi
- harvalaudoitus
- 25 x 50 mm koolaus (tässä välissä sähkörsiat ja putkitus)
- sisäkattoverhous

Ulkoseinä:

- 1/2-k. julkisivutili
- KL-150-1 tai bituliitti 12 mm
- 50 x 50 mm rimat + mineraalivilla 50 mm

- 50 x 100 mm runko + mineraalivilla 100 mm
- muovikelmu
- 12 mm lastulevy

Alapohja:

- laminaatti
- 50 x 100 mm koolaus, alla alusjuoksut + mineraalivilla 125 mm
- teräsbetonilaatta 70 mm
- tiivistetty karkea sora

1.3 Tutkimuksen tilaaja

Jani Soini

Mustikkatie 3, 87500 Kajaani

1.4 Tutkimuksen tavoite

Tavoitteena oli selvittää vuonna 1978 rakennetun omakotitalon ilmanvuotoluku ja mahdolliset vuotokohdat. Rakennus toimii niin sanotusti esimerkkikohteena opinnäytetyössä. Ennen tutkimusta ei ollut tietoa kyseisen rakennuksen rakennusvaipan tiiveydestä. Vuoden 2010 rakentamismääräyksissä mittausta edellyttävän ilmanvuotoluvun raja-arvo on 4,0 l/h.

1.5 Tutkimuksen tekijä

Aleksi Oikarinen

Opiskelija, Kajaanin ammattikorkeakoulu

90240 Oulu

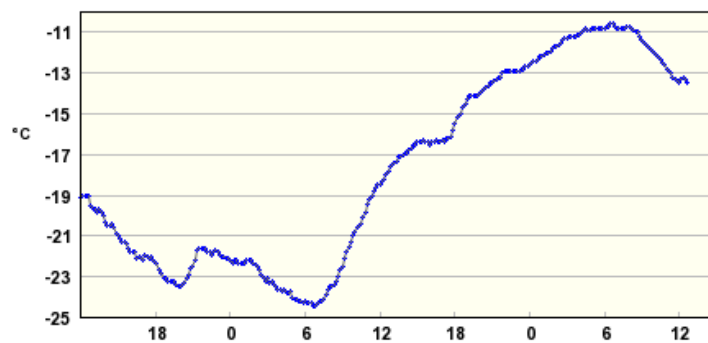
2 LÄHTÖÄRVOT

2.1 Ulko- ja sisäilman olosuhteet 5.12.2012

Ulko- ja sisäilman lämpötilat mainitaan raportin liitteena olevassa mittauspöytäkirjassa. Paineokeet suoritettiin kohteessa 5.12.2012 klo 10.30-11.30. Tuuliolosuhteita tarkkailtiin koko mittauksen ajan, vaikkakin ilma oli melkein tyyni.

Säätila Kajaanin Petäisenniskan sääasemalla 5.12.2012 klo 12 ja edeltävän 48 tunnin aikana:

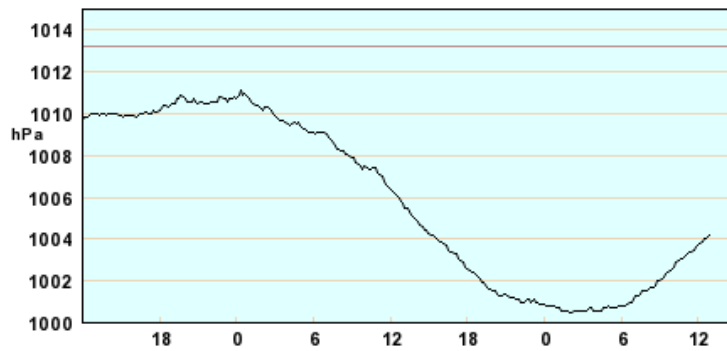
Lämpötila:



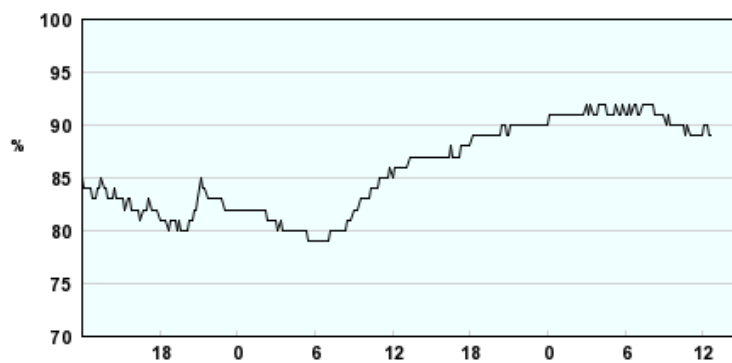
Tuuliolosuhteet:



Ilmanpaine:



Ilmankosteus:



2.2 Tiiviysmittauksen kattavuus

Tiiviysmittaus kattoi rakennuksen ulkovaipan rajaamat lämpimät tilat. Periaatteet pientalon ilmavuotoluvun mittauksen toteutukselle löytyvät rakennustietokortista RT-80-10974 (Teollisesti valmistettujen asuinrakennusten ilmanpitävyyden laadunvarmistusohje). Kyseisen kortin ohjeet täydentävät standardin SFS-EN 13829 ohjeita rakennuksen ilmavuotoluvun mittauksesta. Mittaus toteutettiin noudattaen edellä mainittuja ohjeita.

2.3 Käytetyt mittalaitteet ja koejärjestelyt

Painekoe suoritettiin Minneapolis Blower Door-laitteistolla. Kokoonpanoon kuului digitaalinen painemittauslaite, joka on mallia DG-700. Laitteiston kalibrointi on suoritettu tehtaalta ja se on ajan tasalla.

Lämpötilat ja kosteus mitattiin Vaisala Humicap HM34 kosteus- ja lämpötilamittalaitteella. Vuotokohtia etsittiin Flir P60 lämpökameran avulla. Pinta-alat ja ilmatilavuus laskettiin kuvista suhdeviivainta hyväksikäyttäen.



Kuva 27 Painekoelaitteisto valmiudessa.

Painekoe perustuu ilman tilavuusvirran määrittämiseen eli kuinka paljon ilmaa täytyy puhaltaa sisälle rakennukseen (ylipainekoe) tai rakennuksesta poispäin (alipainekoe), jotta rakennuksen ulkovaipan yli saataisiin luotua haluttu paine-ero. Ilman tilavuusvirtojen määrittäminen tapahtuu portaittain eri paine-eroilla ja se tehdään aina vähintään 50 Pascalin paine-eroon asti.

Ilmavuotoluvun mittaus suoritetaan standardin mukaisesti ja kaikki tarkoituksenmukaiset ilmanvaihtokanavat kuten ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistoilmakanavat, hormit, tulisijat ja korvausilmaventtiilit suljetaan tiiviiksi, esimerkiksi teippaamalla tai jollakin muulla luotettavalla tavalla. Myös ulko-ovet ja ikkunat suljetaan huolellisesti mittauksen ajaksi.

Mittauskohteessa painekoelaitteisto asennettiin rakennuksen ulko-oveen. Ilmanvaihtokanavat, lattiakaivot ja liesituuletin tiivistettiin teippaamalla käyttäen lisäksi tiivistämiseen sopivaa muovia. Ikkunoiden ja toisen ulko-oven tiiviys tarkistettiin ja kaikki rakennuksen väliovet aukaistiin. Mittaus suoritettiin alipaineessa.



Kuva 28 Ilmanvaihtoventtiilit ja lattiakaivot suljettiin teippaamalla.

2.4 Rakennuksen pinta-alojen ja tilavuuksien laskenta

Rakennuksen vaipan ala ja tilavuus laskettiin piirustuksista suhdeviivainta hyväksikäyttäen. Ilmatilavuuden mittaus tapahtui helposti, sillä rakennuksen kaikki tilat olivat korkeudeltaan täysin samankaltaisia eli 2,5 metriä korkeita. Väliseiniä ei vähennetty ilmatilavuudesta, sillä niiden vähentämisestä saatu hyöty mittaustarkkuudessa olisi olematon.

3 TULOKSET

3.1 Mittaustulokset

Mittaustulokset eritellään tarkemmin raportin liitteenä olevassa mittauspöytäkirjassa. Rakennuksen ilmanvuotoluku mitattiin alipaineessa ja tulokseksi saatiin 5,6 l/h. Vastaava vuotoilmavirta on 1494 m³/h.

3.2 Tulos ja sen arviointi

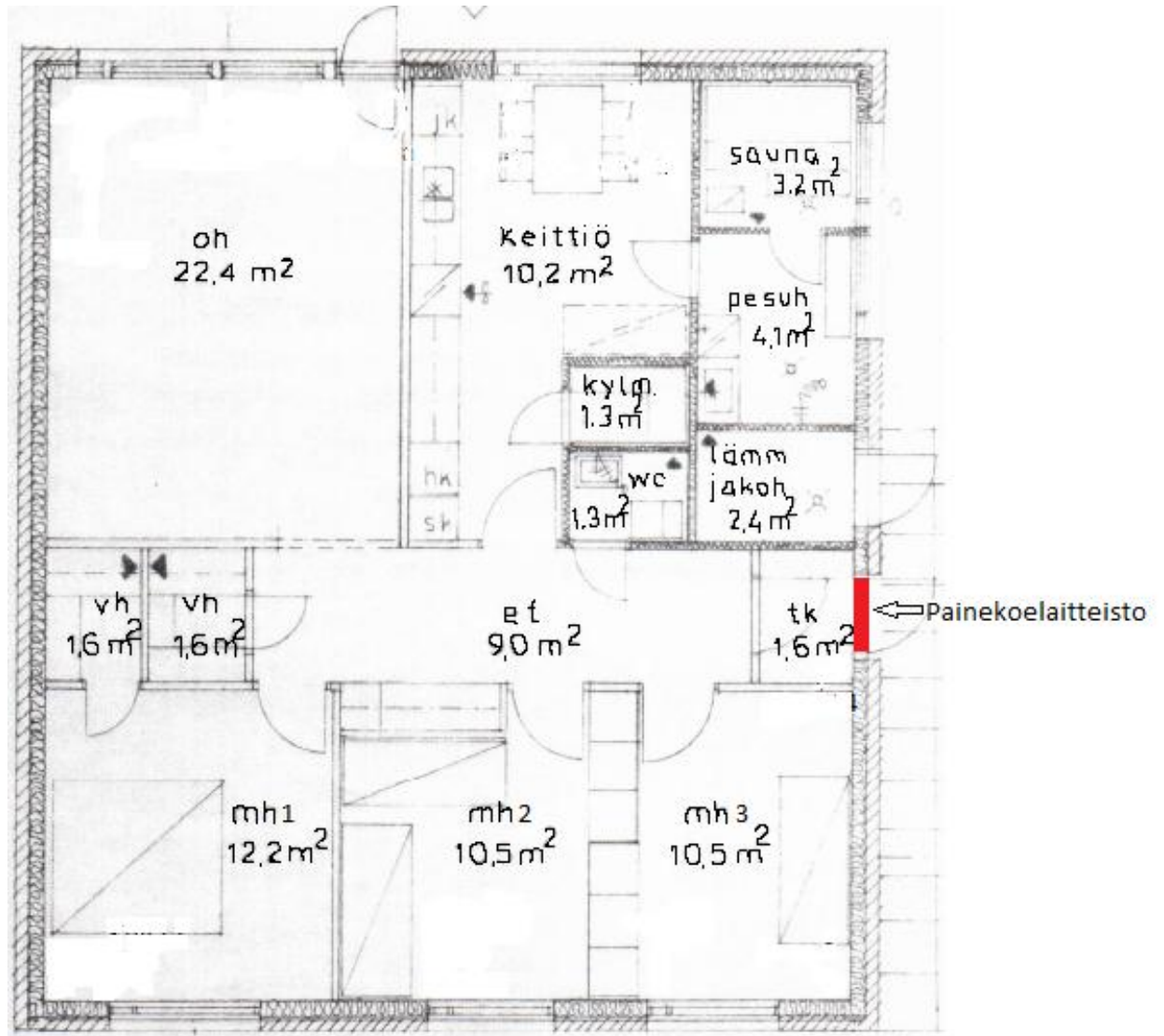
Tyypillinen ilmanvuotoluku suomalaisille rakennuksille on 1,5–5 l/h. Kohteen ilmanvuotoluvuksi saatu arvo 5,6 l/h on siis heikohko verrattuna rakennusten tyypillisiin arvoihin. Rakennuksen iän huomioon ottaen lukema ei kuitenkaan ole mikään katastrofi, mutta jo vähänkin tiiviimmillä rakenneratkaisuilla saavutettaisiin huomattavia säästöjä lämmityksen energiantarpeessa. Lukema osoittaa, että kohteen suunnitelu-, rakentamis- ja valvontavaiheessa ilmanpitävyyteen ei juurikaan ole kiinnitetty huomiota.

Ilmanpitävyys vaikuttaa myös rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. Rakennuksen ilmanvuotoluvun ollessa suuri, myös sijainti ja ympäristön tuuliolosuhteet voivat vaikuttaa merkittävästi lämmityksen energiankulutukseen. Kohde ei kuitenkaan sijaitse erityisen tuulialttiilla paikalla, joten sijainnin merkitys on näin ollen vähäinen.

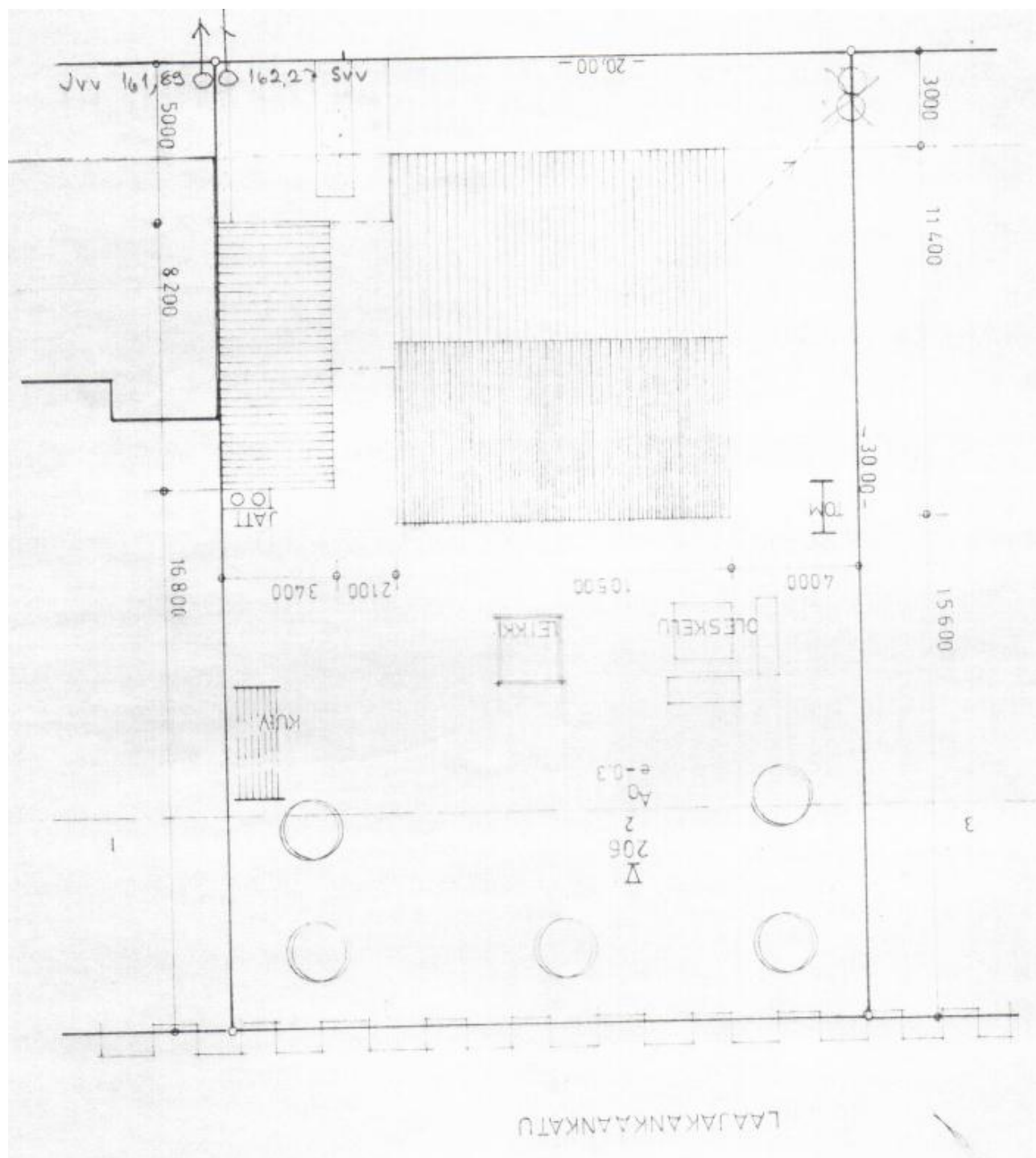
Energiatehokkaan talon tunnistaa vedottomuudesta ja lämpimistä sisäpinnoista. Rakennuksen ulkovaipan kunnollinen ja ehyt ilmansulku takaa hyvän ilmanpitävyyden. Tuulensuoja puolestaan estää kylmän ilmanvirran tunkeutumisen eristyskerrokseen.

LIITTEET

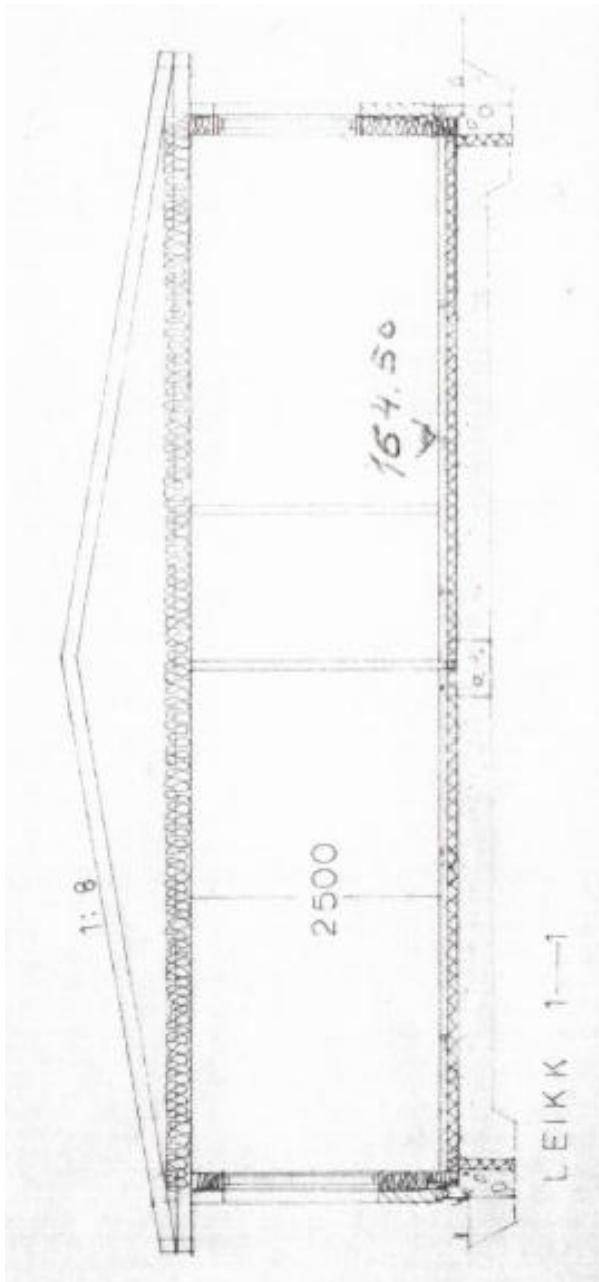
Pohjakuva

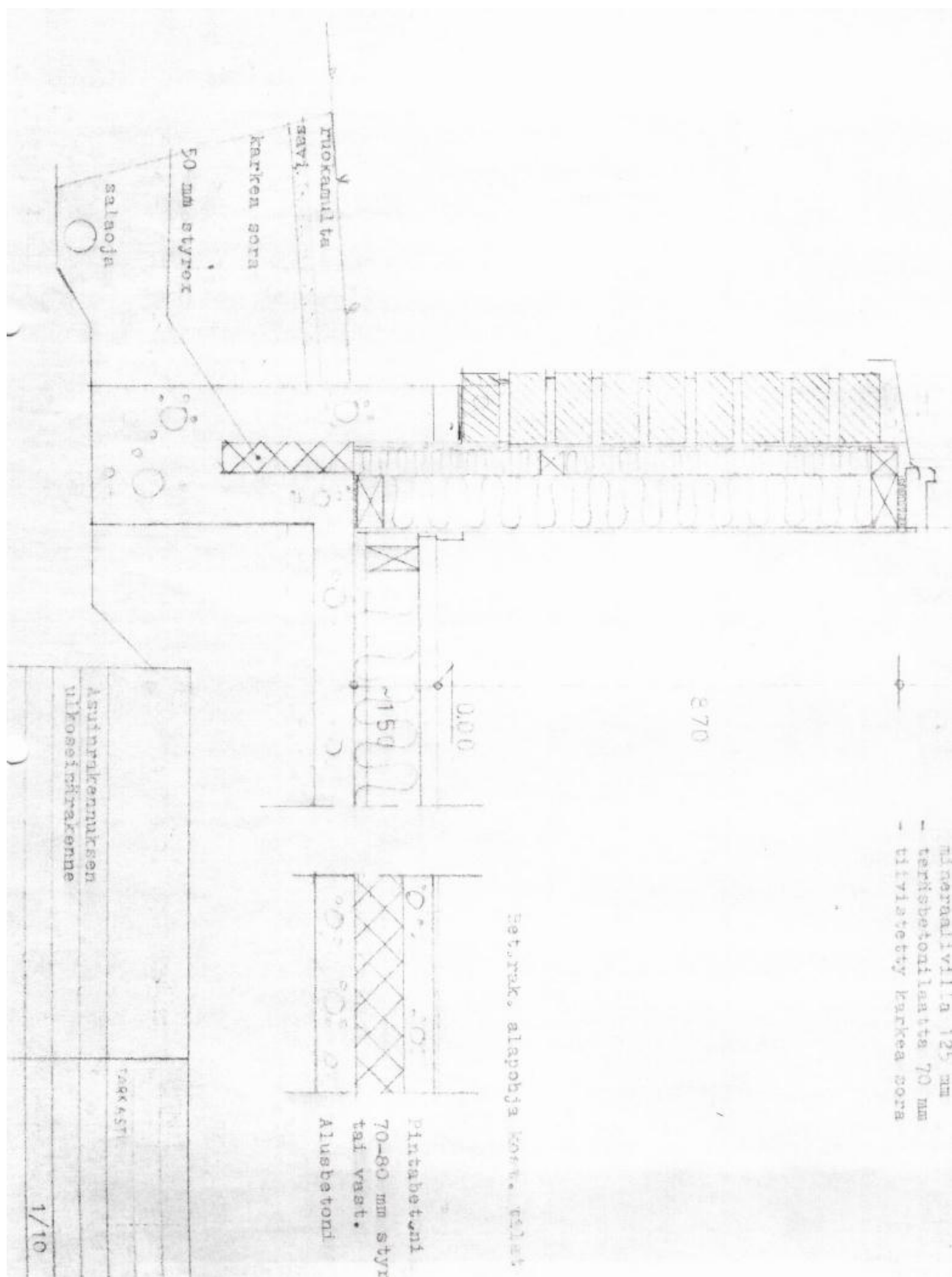


Asemakuva

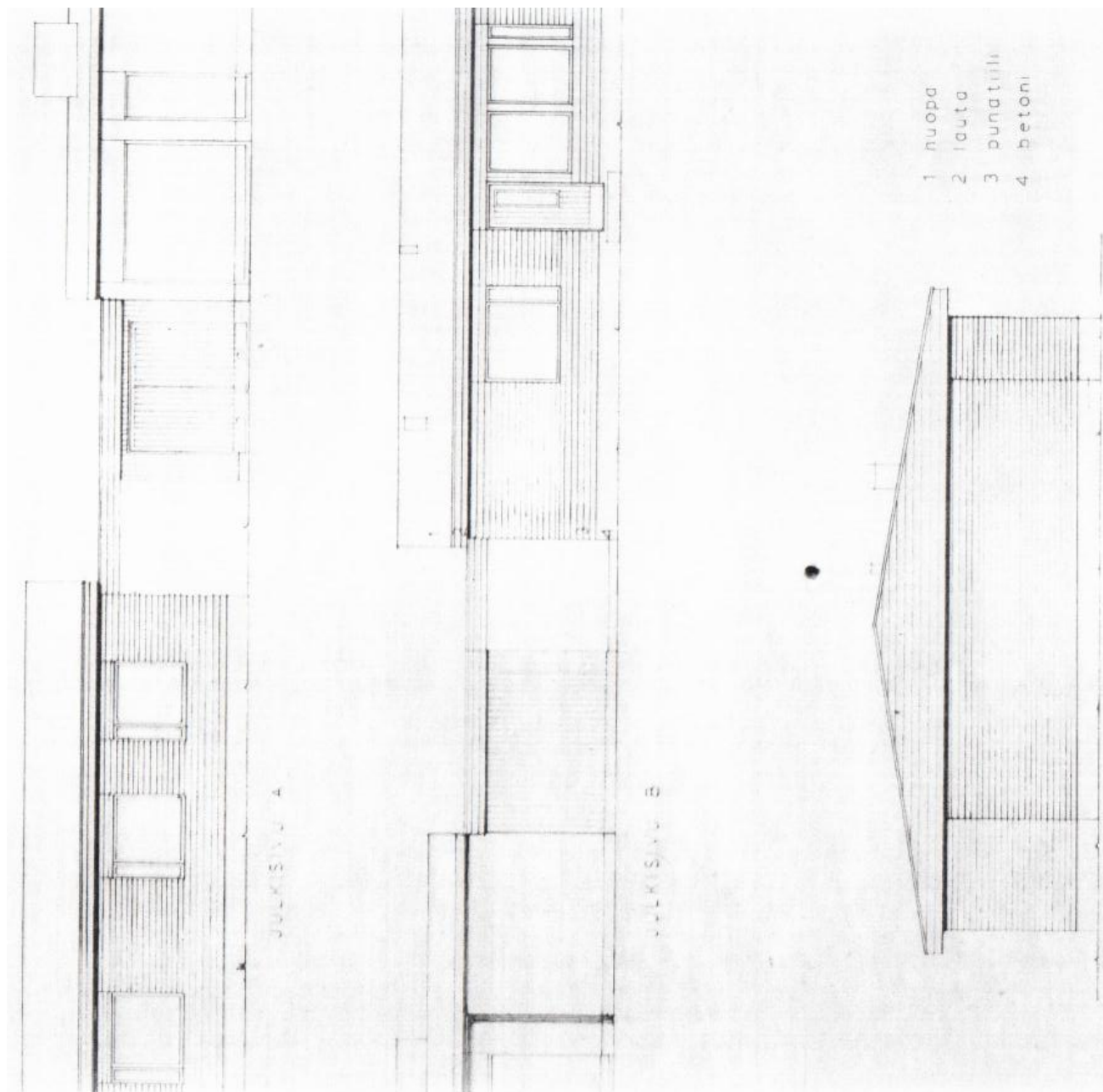


Leikkauskuvat





Julkisivukuvat



Mittauspöytäkirja

Ilmatiiveyden mittaaminen EN 13829, Menetelmä B Mittauspöytäkirja			
Rakennuksen tiedot		Tilaaja	
Rakennus:	Omakotitalo	Nimi:	Jani Soini
Osoite:	Mustikkatie 3 87500 Kajaani	Osoite:	Mustikkatie 3 87500 Kajaani
Rakennusvuosi:	1978	Puh:	
Mittausajankohta:	5.12.2012	Fax:	
Mittaajan tiedot			
Yritys:	Kajaanin Ammattikorkeakoulu	Mittaaja:	Alexi Oikarinen
Osoite:	Ketunpolku 3 87101 Kajaani	Puh:	
		Fax:	
Mittaustapa			
Menetelmä:	B Test of the building envelope		
Standardi:	Following EN 13829		
Huom:			
Mittauskohde:			
Kuvaus kohteesta:	Kajaanin Laajankankaalla sijaitseva vuonna 1978 valmistunut n.90 neliön omakotitalo. Kohde on peruskuntainen, eikä rakenteiden eristystä ole parannettu rakentamisaikakohdasta.		
Sisätilavuus V:	266 m³	Virhe: +/- 3 %	Calculation Reference Values:
Lattiapinta-ala:	106 m²		
Sisävaippapinta-ala:	316 m²		
Ilmanvaihto:	Painovoimainen		
Lämmitystapa:	Vesikiertoinen patterilämmitys		
Jäähdytys:	Ei jäähdytystä		
Lisätiedot:			
Mittauslaitteisto			
Mittauslaite:	Minneapolis BlowerDoor Modell 4, DG-700		
Sarjanumerot:	Puhallin: 0	Pressure Gauge: DG700 - 60816	Kalibroitu: 28.07.10
Muuta:	Lämpötilan ja kosteudenmittaus: Vaisala Humicap HM 34		

Test Standard EN 13829, Menetelmä_B
 Minneapolis BlowerDoor Modell 4 - Tectite Express 3.6.7.0

Kohde: Omakotitalo 87500 Kajaani	Mittaaaja: Aleksi Oikarinen Pvm: 5.12.2012
-------------------------------------	---

Lämpötila ja tuuliolosuhteet

Sisälämpötila: 21 °C	Wind Force: 1
Ulkolämpötila: -12 °C	Tuulen voimakkuus (numero): 1
Barometric Pressure: (Standard): 101325 Pa	Rakennuksen altistuminen tuulelle (kirjain): B
	Uncertainty because of Wind (Table Geißler): 0 %

Alipaine

Baseline	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
(luonnol.)	-	-3,3 Pa	-	-3,2 Pa

Ylipaine

Baseline	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
(luonnol.)	***	***	***	***

Mittaustiedot

Kuriste-laippa	Rakennuk-sen paine	Puhaltim. paine	Puhaltim. virtaus V_r	Tolerance	Kuriste-laippa	Rakennuk-sen paine	Puhaltim. paine	Puhaltim. virtaus V_r	Tolerance
OABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]	OABCDE	[Pa]	[Pa]	[m³/h]	[%]
Δp_{01}	-3,3	—	—	—	Δp_{01}	***	—	—	—
A	-73	56	1997	-0,36					
A	-63	46	1820	0,11					
A	-53	36	1620	0,17					
A	-43	27	1400	0,51					
B	-33	205	1149	-0,42					
Δp_{02}	-3,2	—	—	—	Δp_{02}	***	—	—	—

Correlation Coefficient r:	1,000	Confidence interval			Correlation Coefficient r:		Confidence interval		
C_{env} [m³/(h Paⁿ)]	111	max. 120	min. 102		C_{env} [m³/(h Paⁿ)]				
C_L [m³/(h Paⁿ)]	115	max. 125	min. 106		C_L [m³/(h Paⁿ)]				
n	-	0,66	max. 0,68	min. 0,63	n	-	0,67		

Tulokset

Tulokset			V =	266 m³	A _F =	106 m²	A _E =	316 m²
	V ₅₀	Uncertainty	n ₅₀	Uncertainty	w ₅₀	Uncertainty	q ₅₀	Uncertainty
	m³/h	%	1/h	%	m³/m²h	%	m³/m²h	%
Alipaine	1494	+/- 10 %	5,6	+/- 10 %	14,1	+/- 10 %	4,7	+/- 10 %
Ylipaine								
Keskiarvo								

Regulation complied with:**Input****Maximum allowable:**

--	--	--	--	--

Select

Note: The result does not exclude faults in the construction.

Business Info: Aleksi Oikarinen

Kajaanin Ammattikorkeakoulu

Date, Sign

Stamp

EN 13829, Menetelmä B **Zero-Flow (Baseline) and Accuracy**

Object: Omakotitalo 87500 Kajaani	Technician Aleksi Oikarinen Date: 5.12.2012
--------------------------------------	--

Depressurization			Test Data	Pressurization			Test Data
Reading	Zero Flow Pressure Difference			Reading	Zero Flow Pressure Difference		
	At the Beginning	At the End			At the Beginning	At the End	
1	-3,4	-3,2		1			
2	-3,3	-3,2		2			
3	-3,3	-3,2		3			
4	-3,4	-3,2		4			
5	-3,4	-3,3		5			
6	-3,4	-3,2		6			
7	-3,4	-3,2		7			
8	-3,4	-3,2		8			
9	-3,4	-3,2		9			
10	-3,4	-3,2		10			
11	-3,4	-3,2		11			
12	-3,4	-3,2		12			
13	-3,4	-3,2		13			
14	-3,3	-3,3		14			
15	-3,4	-3,2		15			
16	-3,4	-3,2		16			
17	-3,3	-3,2		17			
18	-3,3	-3,2		18			
19	-3,3	-3,3		19			
20	-3,3	-3,2		20			
21	-3,3	-3,2		21			
22	-3,3	-3,2		22			
23	-3,3	-3,2		23			
24	-3,3	-3,2		24			
25	-3,4	-3,2		25			
26	-3,4	-3,2		26			
27	-3,3	-3,2		27			
28	-3,4	-3,2		28			
29	-3,3	-3,2		29			
30	-3,4	-3,2		30			

Average of the positive and negative Values of Zero Flow Pressure Difference

	Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}		Δp_{01+}	Δp_{01-}	Δp_{02+}	Δp_{02-}
Average	-	-3,3	-	-3,2	Average	***	***	***	***

Average of all Values of Zero Flow Pressure Difference

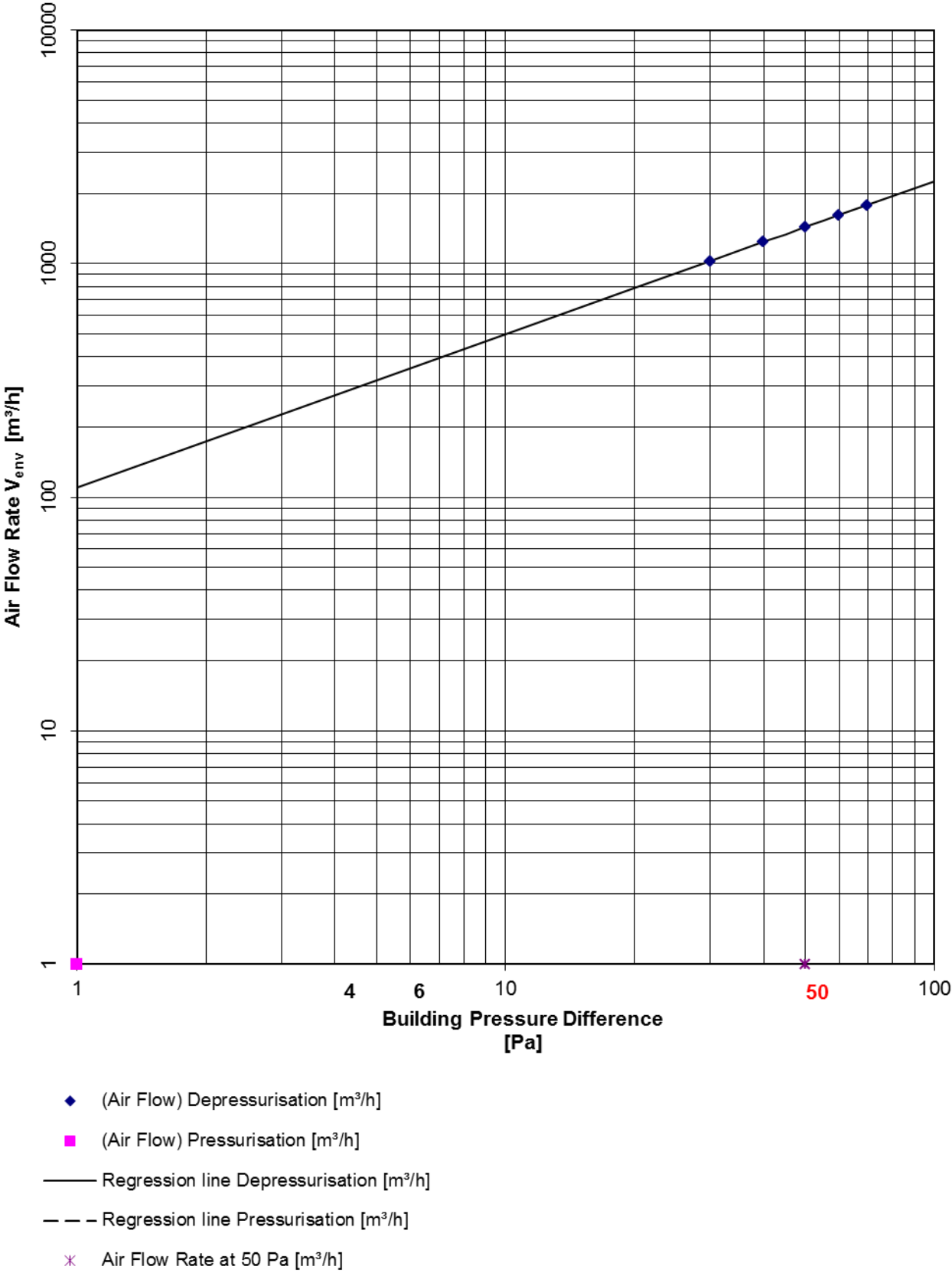
Zero Flow (baseline)	Δp_{01} [Pa]	Δp_{02} [Pa]	Zero Flow (baseline)	Δp_{01} [Pa]	Δp_{02} [Pa]
	-3,3	-3,2		***	***

Note:

Accuracy (Proposal Germany: FLiB-Supplement 11/2001)

Name	Description	Depressurisation	Pressurisation
a	Accuracy of the device to measure airflow rate	+/- 4 %	+/- 4 %
b	Accuracy building pressure	+/- 3 %	50 Pa
c	Uncertainty because of wind	+/- 0 %	+/- 0 %
d	Uncertainty barometric pressure (standard or measured)	+/- 5 %	+/- 5 %
e	Uncertainty leaving out a depressurisation or pressurisation	+/- 7 %	+/- 0 %
g	Uncertainty reference values	+/- 3 %	+/- 3 %
only info	Random error of the airflow rate	+/- 1 %	+/- 0 %

BlowerDoor Air Leakage Graph
Object: Omakotitalo



LÄMPÖKUVAUSRAPORTTI

Mustikkatie 3 87500 Kajaani



Alexi Oikarinen

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Raportointipäivämäärä 9.1.2013

SISÄLLYS

1	KOHTTEEN YLEISTIEDOT	3
1.1	Kohde ja osoite.....	3
1.2	Rakennuksen vaipan rakenne	3
1.3	Tutkimuksen tilaaja	4
1.4	Tutkimuksen tavoite	4
1.5	Tutkimuksen tekijä.....	4
1.6	Tutkimuksen ajankohta.....	4
1.7	Ulko- ja sisäilman olosuhteet.....	4
2	LÄHTÖARVOT JA KÄYTETYT MENETELMÄT	5
3	OHJEET JA RAJA-ARVOT	5
4	TULOKSET	7
	LIITTEET	8
	Lämpökuvausraportti.....	8
	Pohjakuva	16
	Leikkauskuvat	17
	Asemapiirros	20
	Julkisivukuva	21

1 KOHTEEN YLEISTIEDOT

1.1 Kohde ja osoite

Kyseessä on Kajaanin Laajankankaalla sijaitseva vuonna 1978 rakennettu omakotitalo.

Osoite on Mustikkatie 3, 87500 Kajaani.

Talossa ilmanvaihto toimii painovoimaisesti.

Rakennuksen alapohja on maanvarainen betonilaatta.

1.2 Rakennuksen vaipan rakenne

Yläpohja:

- mineraalivilla tuulensuojamatto 50mm
- mineraalivilla 2 x 100 mm + alapaart.
- muovipaperi
- harvalaudoitus
- 25 x 50 mm koolaus (tässä välissä sähköasiat ja putkitus)
- sisäkattoverhous

Ulkoseinä:

- ½-k. julkisivutili
- KL-150-1 tai bituliitti 12 mm
- 50 x 50 mm rimat + mineraalivilla 50 mm
- 50 x 100 mm runko + mineraalivilla 100 mm
- muovikelmu
- 12 mm lastulevy

Alapohja:

- laminaatti
- 50 x 100 mm koolaus, alla alusjuoksut + mineraalivilla 125 mm
- teräsbetonilaatta 70 mm
- tiivistetty karkea sora

1.3 Tutkimuksen tilaaja

Jani Soini

Mustikkatie 3, 87500 Kajaani

1.4 Tutkimuksen tavoite

Lämpökuvauksen tavoitteena oli paikallistaa rakennuksen ilma- ja lämpövuodot. Kuvaus suoritettiin rakennuksen sisältäpäin normaalipaineessa kiinnittäen erityistä huomiota nurkkiin sekä ulkoseinien ja lattian liitoskohtiin. Rakennus kuvattiin myös alipaineisena, mutta poikkeuksia normaalipaineessa kuvattuun ei havaittu.

1.5 Tutkimuksen tekijä

Aleksi Oikarinen, Kajaanin ammattikorkeakoulu

1.6 Tutkimuksen ajankohta

Lämpökuvaus suoritettiin 5.12.2012 klo 10.00 alkaen ilmatiiviysmittauksen yhteydessä.

1.7 Ulko- ja sisäilman olosuhteet

Ulkoilman lämpötila -12 °C/RH% 90

Sisäilman lämpötila 21 °C/RH% 35

Huoneiston alipaine -3,3 Pascalia

2 LÄHTÖARVOT JA KÄYTETYT MENETELMÄT

Lämpökuvaus suoritettiin ohjekortin RT 14-10850 mukaisesti.

Käytetyt laitteet: Lämpökamera on mallia Flir P60. Lämpötilat ja kosteus mitattiin Vaisala Humicap HM34 kosteus- ja lämpötilamittalaitteella.

3 OHJEET JA RAJA-ARVOT

Asumisterveysohje 2003

Oleskeluvyöhykkeen ja lämpötilojen määritelmät:

Oleskeluvyöhyke on huoneen osa, jonka alapinta rajoittuu lattiaan ja yläpinta sijaitsee 1,8 metrin korkeudella alapinnasta. Oleskeluvyöhykkeen sivupinnat ovat 0,6 metrin etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista.

Lämpötilaindeksi mahdollistaa rakennuksen vaipan lämpöteknisen toiminnan arvioinnin. Lattian ja seinien pintalämpötiloja arvioidaan lämpötilaindeksin avulla silloin, kun ulkolämpötila on alle tai yli -5 °C (enintään +5 °C) mittaustoleranssi huomioiden.

Lämpötilaindeksin (TI) laskukaava:

$$TI = (T_{sp} - T_0) / (T_i - T_0) * 100 [\%]$$

T_{sp} = sisäpinnan lämpötila [°C], joka on mitattu esimerkiksi lämpökameralla

T_i = sisäilman lämpötila [°C]

T_0 = ulkoilman lämpötila [°C]

Lattian lämpötilaindeksit: Välttävä taso 87 % ja hyvä taso 97 %

Seinän lämpötilaindeksit: Välttävä taso 81 % ja hyvä taso 87 %

Ulkovaipan ja seinän liitoskohtien, sekä läpivientien pistemäistä lämpötilaa kuvaavat lämpötilaindeksit: Välttävä taso 61 % ja hyvä taso 65 %

Korjausluokitus:

Korjausluokka 1 = pisteen lämpöindeksi 0–60, eli korjaustarve on välitön. Kyseessä voi olla esimerkiksi ilmavuoto, eristevika tai kosteusvaurio.

Korjausluokka 2 = pisteen lämpöindeksi 61–65, joka ilmenee usein vedontunteena, jolloin kohde vaatii korjausta. Muutoin korjaustarve harkitaan erikseen.

Korjausluokka 3 = pisteen lämpöindeksi 66–69, joka on välttävä taso. Korjaustarve ei ole välitön, ellei tilan käyttö sitä vaadi.

Korjausluokka 4 = pisteen lämpöindeksi 70–100, joka on hyvä taso. Tällöin korjaustarvetta ei ole.

4 TULOKSET

Tarkastuksessa havaittiin, että suurimmassa osassa ikkunoita, ulko-ovia ja tuuletusluukkuja tiivisteet vuotavat ja ne kaipaavat uusimista. Osassa edellämainituista tiivisteet olivat erittäin huonossa kunnossa ja näin ollen vaikutus rakennuksen lämmitysenergian tarpeeseen on huomattava.

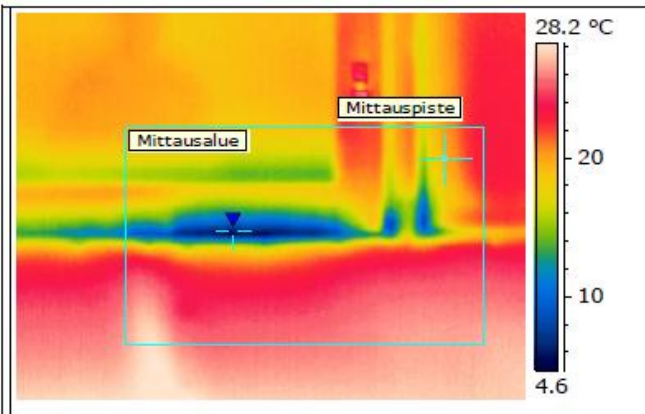
Kahdessa makuuhuoneessa (makuuhuoneet 1 ja 3) oli molemmissa ulkoseinään rajoittuvissa nurkissa havaittavissa ilmavuotoa, joista makuuhuoneen numero 3 nurkka ei täytä Asumisterveysohjeessa mainittua välttävää tasoa. Vedon tunteen ehkäisemiseksi ja rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden varmistamisen kannalta kyseiset nurkkakohdat olisi hyvä tarkastaa. Muutoin lattian ja ulkoseinien liitoskohdissa ei havaittu merkittäviä vuotoja ja näiltä osin ne ovat kunnossa.

Positiivista on, että pääosin pistorasioiden kohdalla ei merkittäviä vuotoja havaittu. Usein pistorasioiden kohdalla havaitaan vuotoa huolimattoman asennuksen seurauksena.

LIITTEET

Lämpökuvausraportti

Kuvauspaikka: Makuuhuone 1



Kuva 1.

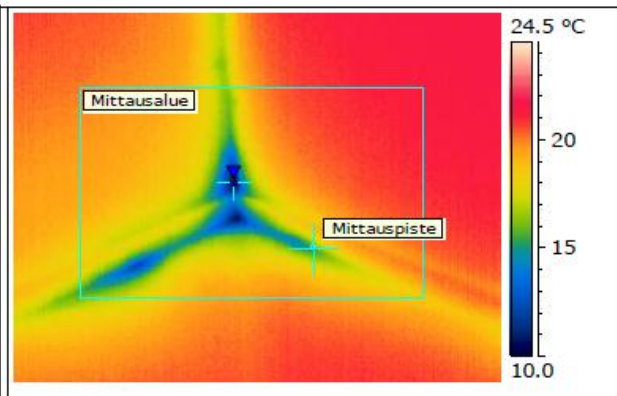


Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

Mittauspisteen lämpötila	19.7 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	27.9 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	5.4 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	53		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	96		

Kommentit: Ikkunan tiivisteet vuotavat. Lämpötilat eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa, joten ikkunan tiivisteet on tarkastettava ja uusittava. Korjausluokka 1.

Kuvaspaikka: Makuuhuone 1



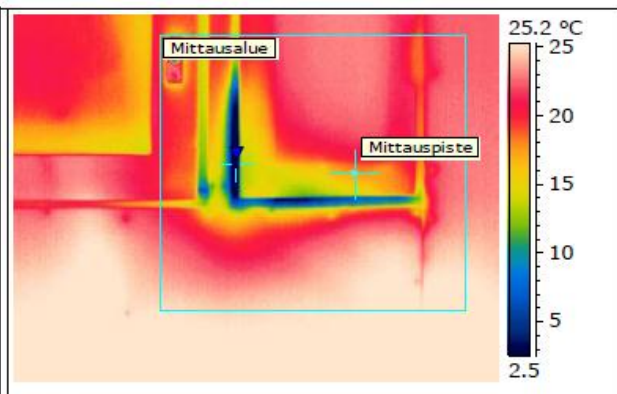
Kuva 2.

Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

Mittauspisteen lämpötila	15.3 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	21.5 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	10.5 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	68		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	83		

Kommentit: Nurkan liitoskohta vuotaa, joten eristys ja höyrynsulku eivät ole tiiviitä. Lämpötilat täyttävät kuitenkin asumisterveysohjeen hyvän tason vaatimukset, joten toimenpiteitä ei välttämättä tarvita. Eristeet ja höyrynsulku olisi kuitenkin hyvä tarkastaa ja tiivistää. Korjausluokka 3.

Kuvaspaikka: Makuuhuone 2



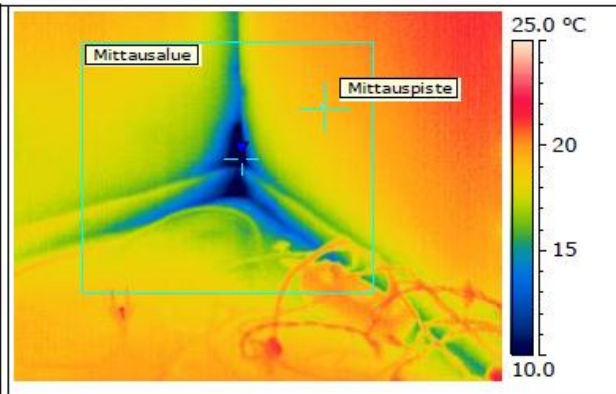
Kuva 3.

Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

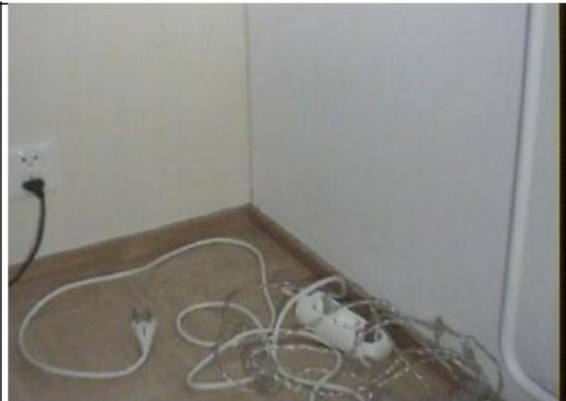
Mittauspisteen lämpötila	17.0 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	26.2 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	-1.7 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	31		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	88		

Kommentit: Tuuletusluukun tiivisteet vuotavat. Lämpötilat eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa, joten tiivisteet tarkastettava ja uusittava. Korjausluokka 1.

Kuvauspaikka: Makuuhuone 3



Kuva 4.

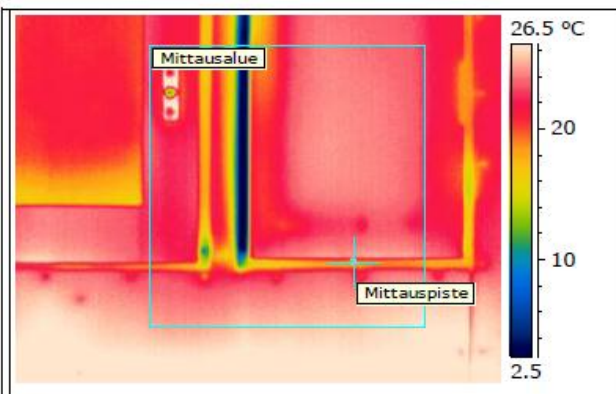


Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

Mittauspisteen lämpötila	19.3 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	20.5 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	6.5 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	56		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	95		

Kommentit: Eristys ja höyrynsulku vuotavat rakennuksen ulkonurkassa. Lämpötilat eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa, joten eristys tarkastettava ja höyrynsulku tiivistettävä. Korjausluokka 1.

Kuvauspaikka: Makuuhuone 3



Kuva 5.

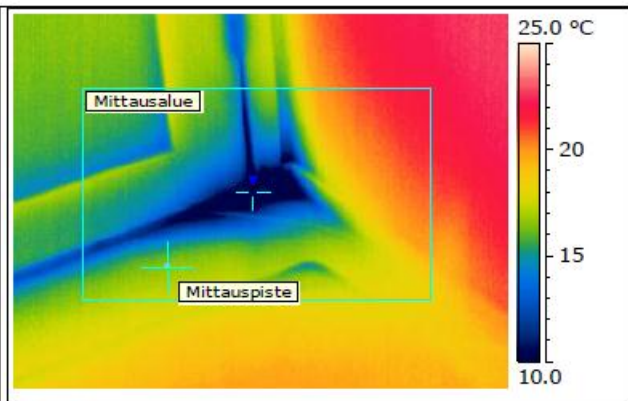


Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

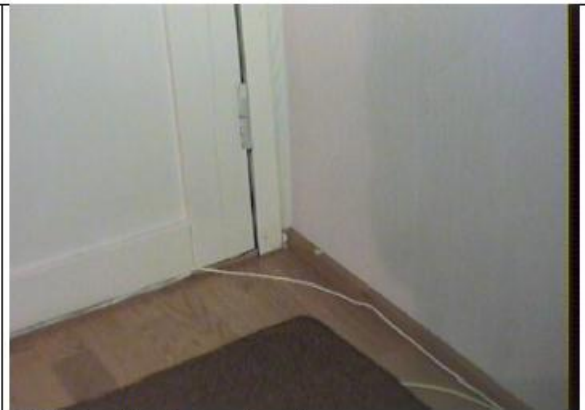
Mittauspisteen lämpötila	18.2 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	28.8 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	-1.2 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	33		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	92		

Kommentit: Tuuletusluukun tiivisteet vuotavat. Lämpötilat eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa, joten tiivisteet tarkastettava ja uusittava. Korjausluokka 1.

Kuvauspaikka: Olohuone



Kuva 6.

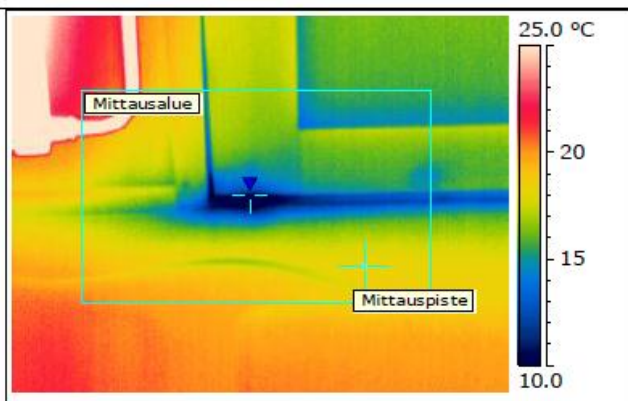


Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

Mittauspisteen lämpötila	16.8 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	22.0 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	0.9 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	39		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	87		

Kommentit: Alajuoksu on huonosti eristetty ja tiivistetty. Lämpötilat eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa, joten eristys on korjattava ja oven tiivisteet tarkastettava. Korjausluokka 1.

Kuvauspaikka: Olohuone



Kuva 7.

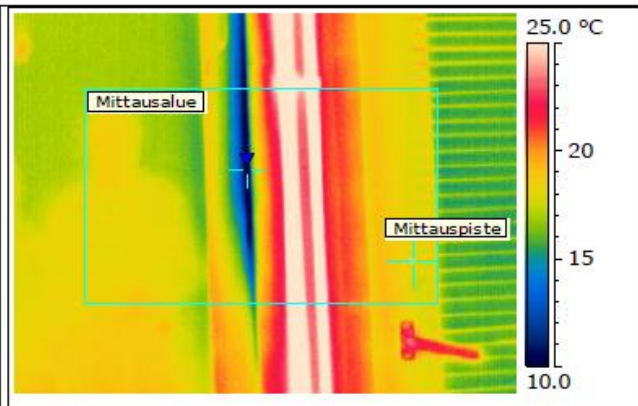


Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

Mittauspisteen lämpötila	18.2 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	27.6 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	7.5 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	59		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	92		

Kommentit: Alajuoksu on huonosti eristetty ja tiivistetty. Lämpötilat eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa, joten eristys on korjattava ja oven tiivisteet tarkastettava. Korjausluokka 1.

Kuvauspaikka: Olohuone



Kuva 8.

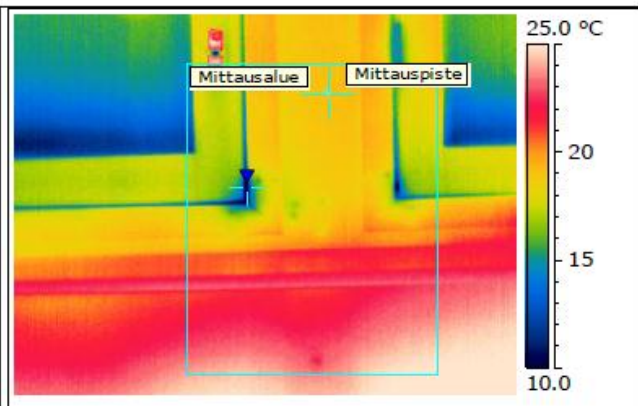


Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

Mittauspisteen lämpötila	17.8 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	36.6 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	8.1 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	61		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	90		

Kommentit: Ikkunan tiivisteet vuotavat. Tiivisteet tarkastettava. Korjausluokka 2.

Kuvauspaikka: Olohuone



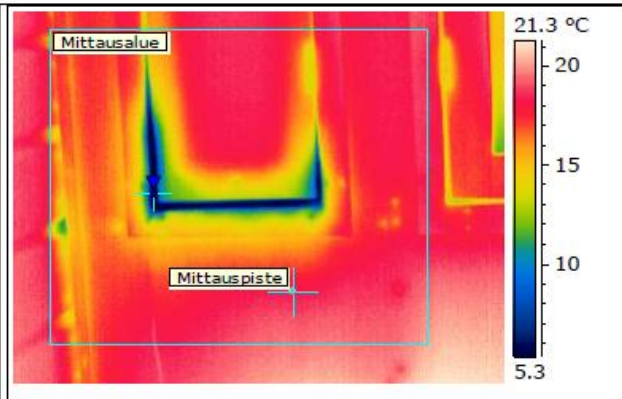
Kuva 9.



Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

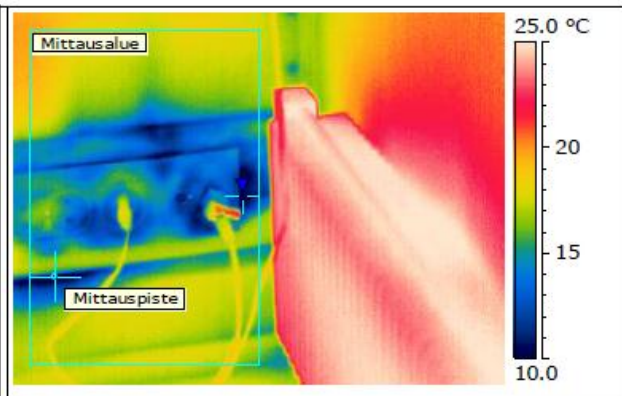
Mittauspisteen lämpötila	19.0 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	25.4 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	5.1 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	52		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	94		

Kommentit: Ikkunan tiivisteet vuotavat. Lämpötilat eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa, joten tiivisteet tarkastettava ja uusittava. Korjausluokka 1.

Kuvauspaikka: Olohuone

Kuva 10.
Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

Mittauspisteen lämpötila	18.3 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	20.4 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	-1.5 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	32		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	92		

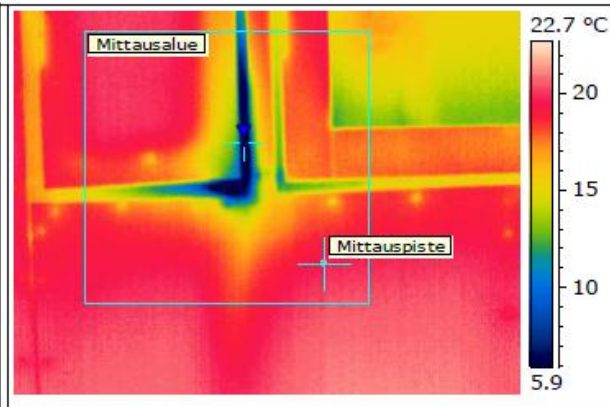
Kommentit: Tuuletusluukun tiivisteet vuotavat. Lämpötilat eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa, joten tiivisteet tarkastettava ja uusittava. Korjausluokka 1.

Kuvauspaikka: Olohuone

Kuva 11.
Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

Mittauspisteen lämpötila	10.0 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	22.8 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	8.6 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	62		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	67		

Kommentit: Pistorasian läpivientireikä on huonosti eristetty ja höyrynsulku vuotaa. Lämpötilat täyttävät kuitenkin asumisterveysohjeen välttävän tason, joten toimenpiteet ei välttämättömiä. Eristys ja höyrynsulku olisi kuitenkin hyvä tarkastaa. Korjausluokka 2.

Kuvaspaikka: Keittiö



Kuva 12.

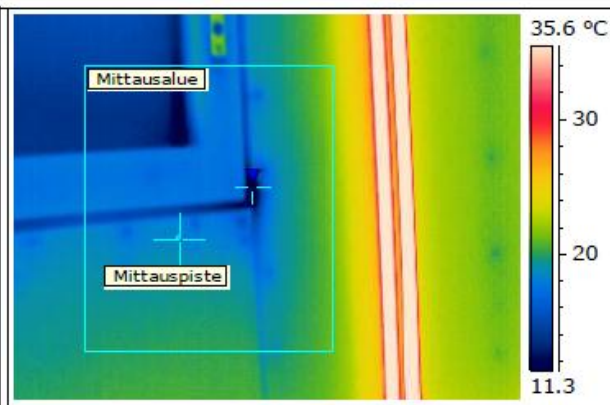


Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

Mittauspisteen lämpötila	19.5 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	20.6 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	1.4 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	41		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	96		

Kommentit: Tuuletusluukun tiivisteet vuotavat. Lämpötilat eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa, joten tiivisteet tarkastettava ja uusittava. Korjausluokka 1.

Kuvaspaikka: Keittiö



Kuva 13.

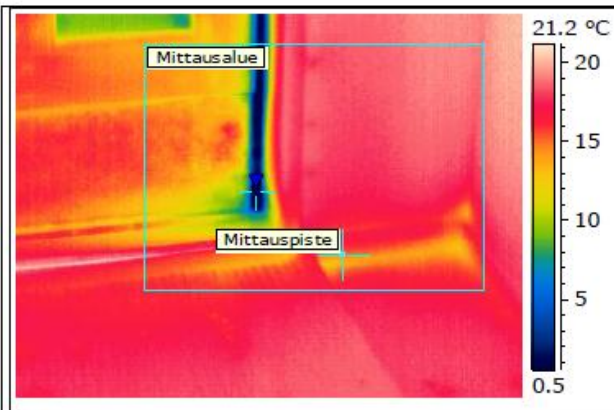


Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

Mittauspisteen lämpötila	18.4 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	22.6 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	8.1 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	61		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	92		

Kommentit: Ikkunan tiivisteet vuotavat. Tiivisteet tarkastettava. Korjausluokka 2.

Kuvauspaikka: Tuulikaappi (eteinen)



Kuva 14.

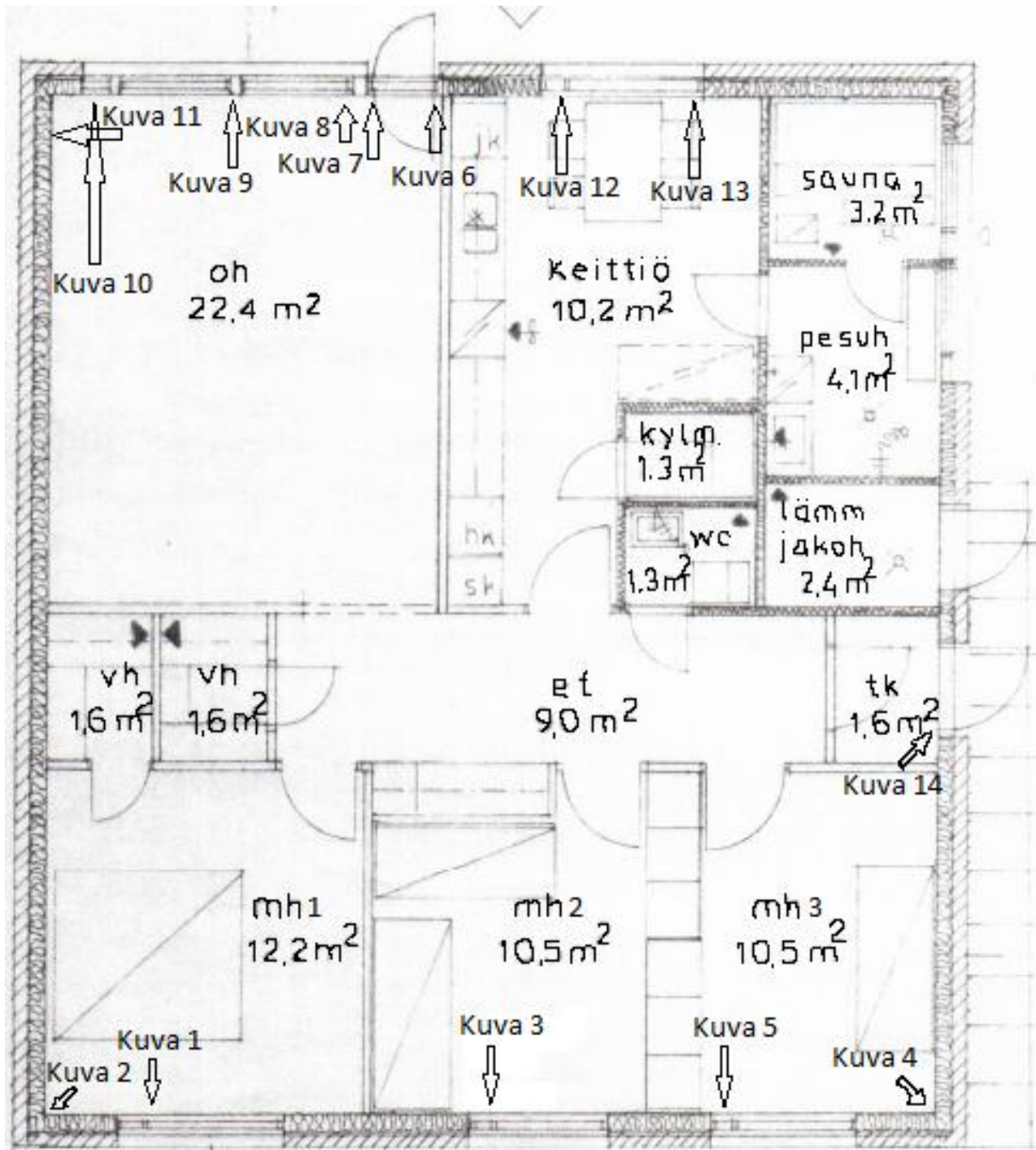


Sisä- ja ulkoilman olosuhteet

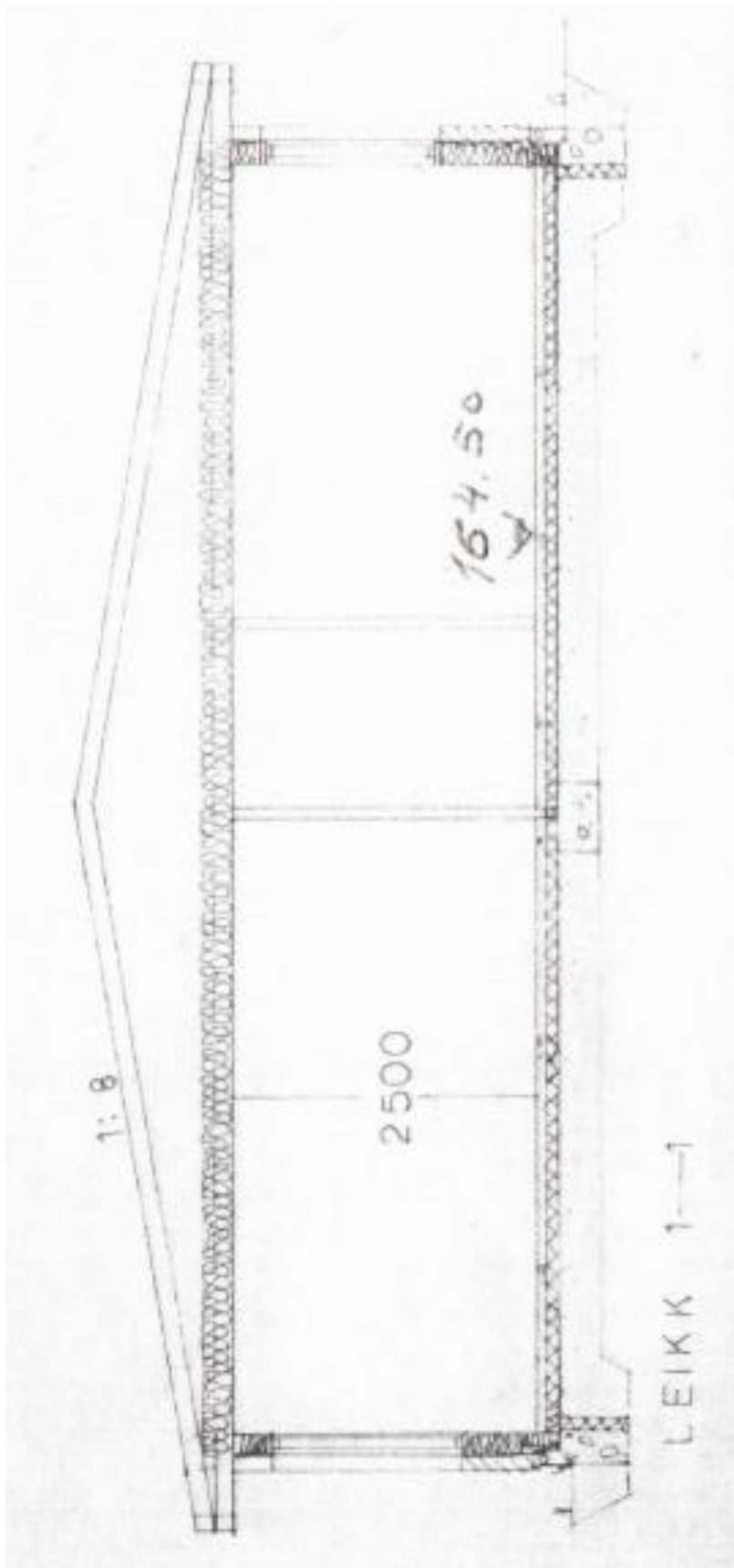
Mittauspisteen lämpötila	14.2 °C	Ulkoilman lämpötila °C	-12.00
Mittausalue maks. lämpötila	19.6 °C	Sisäilman lämpötila °C (Ilman lämpötila lämpökuvasta)	21.0 °C
Mittausalue min. lämpötila	-2.4 °C	Sisäilman suhteellinen kosteus (RH)	35.0 %
Lämpötilaindeksi mitatun alueen minimilämpötilasta	29		
Lämpötilaindeksi mitatusta pistelämpötilasta	79		

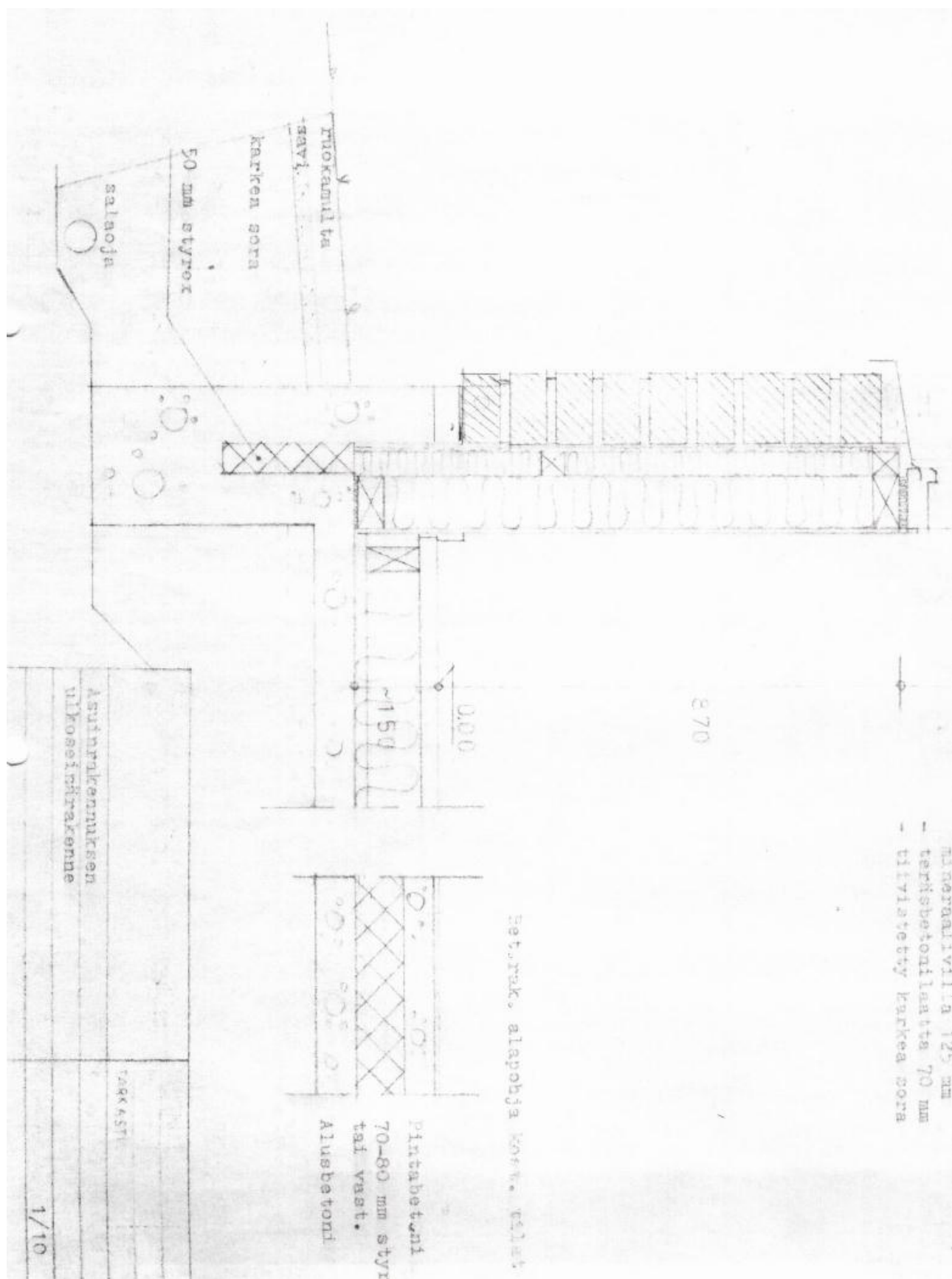
Kommentit: Ulko-oven tiivisteet vuotavat. Lämpötilat eivät täytä asumisterveysohjeen välttävää tasoa, joten ovi säädettävä ja tiivisteet tarkastettava. Korjausluokka 1.

Pohjakuva

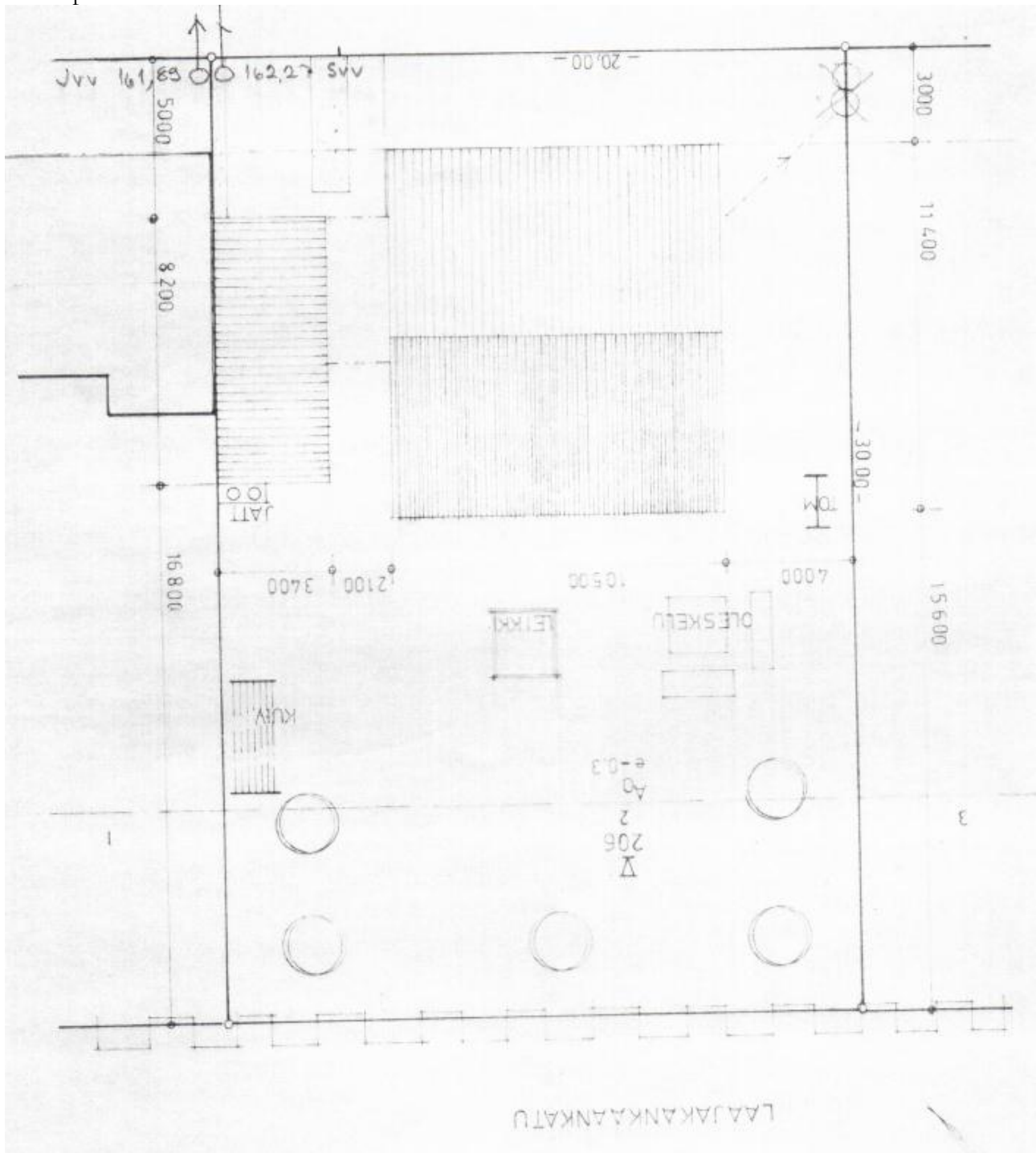


Leikkauskuvat





Asemapiirros



Julkisivukuva

